JACQUES MONOD

Hazard și necesitate

HUMANITAS

ȘTIINȚĂ ȘI FILOZOFIE

ȘTIINȚĂ ȘI FILOZOFIE

JACQUES LUCIEN MONOD s-a născut la Paris în 1910 şi a încetat din viaţă la Cannes în 1976, bolnav de leucemie. După studii la Sorbona (1928), participă ca biolog la o expediţie de explorare a Groenlandei cu vasul „Pourquoi pas?" (1934). În 1940 îşi dă doctoratul. Director al serviciului de biochimie celulară din Institutul Pasteur, creat de el în 1954. Lucrarea *Genetic regulator mechanisms in the synthesis of proteins* (1960) şi două lucrări despre proteinele alosterice — una elaborată împreună cu J.-P. Changeux şi F. Jacob în 1962 şi alta împreună cu J.-P. Changeux şi J. Wiman în 1964—, concepute la Institutul Pasteur, îi aduc în 1965 Premiul Nobel pentru fiziologie şi medicină (împreună cu André Lwoff şi François Jacob). Profesor la Collège de France (1967). Director al Institutului Pasteur (1971). Membru al lui Royal Society (Londra) şi National Academy of Science (S.U.A.).

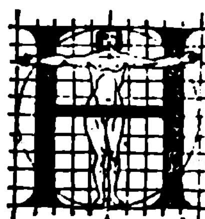
În 1970 publică *Le hasard et la nécessité*, scrisă pe baza unor conferinţe, „Robbins Lectures", ţinute în februarie 1969 la Colegiul Pomona, California.

JACQUES MONOD

Hazard şi necesitate

Eseu despre filozofia naturală a biologiei moderne

Traducere din limba franceză:
SERGIU SĂRARU
Controlul ştiinţific al traducerii:
dr. VLADIMIR EŞANU



HUMANITAS

BUCUREŞTI, 1991

Coperta: DOINA ELISABETA ŞTEFLEA

JACQUES MONOD

LE HASARD ET LA NÉCESSITÉ

Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne

ISBN 973-28-0194-8

CUPRINS

Pe măsură ce științele se emancipează de sub tutela filozofiei, constituindu-se ca discipline autonome, relația dintre filozofie și știință devine ea însăși o problemă filozofică. Supozițiile și concluziile cele mai generale ale cunoașterii științifice sînt în esență de natură filozofică. Într-un fel, de multe ori neaparent, știința începe în filozofie și se varsă în filozofie. Cum spunea mai de mult un autor român, filozofia, în una din ipostazele ei, poate fi caracterizată ca o analiză a primelor supoziții și a ultimelor consecințe ale cunoașterii științifice. Reflecția asupra întemeierii cunoștințelor pozitive, asupra întinderii și valorii lor prezintă în egală măsură interes științific și filozofic. Au întreprins-o cu deosebire în ultimul secol, chiar dacă din puncte de vedere distincte și cu interese diferite, atît mari creatori de știință, cît și filozofi.

Dacă prezența orizontului filozofic a fost o permanență în momentele de schimbări radicale din istoria științei, în știința contemporană asistăm la o mai profundă și constructivă participare a filozoficului în constituirea marilor direcții și programe de cercetare teoretică. Așa cum scria Heidegger, marii creatori ai fizicii atomice, Niels Bohr și Werner Heisenberg, au reușit să revoluționeze știința „numai întrucît au gîndit ca filozofi, deschizînd noi căi pentru formularea problemelor". Sporirea gradului de abstracție și instrumentalizare al științei actuale, complicarea legăturilor ei cu experiența și realitatea au determinat implicarea mai directă a filozofiei în interpretarea demersurilor și a rezultatelor cunoașterii teoretice. Filozofia științei s-a transformat treptat într-un domeniu special de cercetare, care explorează cu metode logice,

istorice, psiko-sociologice, sistemic-informaţionale teme cum ar fi natura şi specificul raţionalităţii ştiinţifice, demersurile de constituire a principalelor forme de organizare a cunoaşterii ştiinţifice, structura lor internă, precum şi mecanismele schimbării ştiinţifice, direcţia şi sensul dezvoltării istorice a cunoaşterii pozitive, relaţia complexă şi subtilă între standardele epistemice şi valorile fundamentale ale culturii.

Colecţia „Ştiinţă şi filozofie" îşi propune să prezinte cititorului român contribuţii dintre cele mai reprezentative pentru acest cîmp deosebit de viu şi animat al vieţii filozofice contemporane. Dorim să cuprindem atît problematica epistemologiei generale, cît şi realizări de referinţă din domeniul filozofiei matematicii, a ştiinţelor teoretice ale naturii, a ştiinţelor sociale şi a ştiinţelor omului. Sîntem dornici să colaborăm cu toţi cei ce sînt în măsură să sprijine realizarea acestor obiective prin informaţii, propuneri, observaţii critice şi participare directă.

MIRCEA FLONTA, ILIE PÂRVU

Tot ce există în univers este rodul întîmplării și al necesității.

Democrit

În clipa subtilă cînd omul își revede viața, Sisif, întorcîndu-se la stîncă, contemplă acel șir de fapte fără legătură care devine propriul său destin, creat de el, unit sub privirea memoriei sale și în curînd pecetluit de moarte. Astfel, încredințat de originea pe deplin omenească a tot ce-i omenesc, orb care vrea să vadă și care știe că noaptea nu are sfîrșit, el nu se oprește niciodată. Stînca se rostogolește și acum.
Îl las pe Sisif la poalele muntelui. Ne întoarcem întotdeauna la povara noastră. Dar Sisif ne învață fidelitatea superioară care îi neagă pe zei și înalță stîncile. Și el socotește că totul e bine. Acest univers rămas fără de stăpîn nu-i pare nici steril, nici neînsemnat. Fiecare grăunte al acestui munte plin de întuneric alcătuiește o lume. Lupta însăși către înălțimi e deajuns spre a umple un suflet omenesc. Trebuie să ni-l închipuim pe Sisif fericit.

Albert Camus, *„Mitul lui Sisif"*

PREFAȚĂ

Biologia ocupă, printre științe, un loc marginal și, totodată, central. Marginal prin aceea că lumea vie nu constituie decît o parte infimă și foarte „specială" a universului cunoscut, astfel încît studierea ființelor vii nu pare să poată duce vreodată la dezvăluirea unor legi generale, aplicabile în afara biosferei. Dar dacă ambiția ultimă a întregii științe este într-adevăr, cum o cred eu, să elucideze relația omului cu universul, atunci trebuie să-i recunoaștem biologiei un loc central, deoarece, dintre toate disciplinele, ea încearcă să pătrundă cel mai direct în inima problemelor care trebuie să fie rezolvate înainte de a putea măcar să o punem pe aceea a „naturii umane" în alți termeni decît metafizici.

Biologia este, de asemenea, pentru om cea mai semnificativă dintre toate științele, cea care a contribuit, fără îndoială, mai mult decît oricare alta la formarea gîndirii moderne, profund răscolită și definitiv marcată în toate domeniile — filozofic, religios și politic — de ivirea teoriei evoluției. Cu toate acestea, oricîtă siguranță a existat încă de la sfîrșitul secolului al XIX-lea în privința validității ei fenomenologice, teoria evoluției, deși domina întreaga biologie, rămînea parcă suspendată în aer cîtă vreme nu se elabora o teorie *fizică* a eredității. În urmă cu treizeci de ani, speranța că acest lucru va reuși curînd părea aproape o himeră, în ciuda succeselor geneticii clasice. Și totuși tocmai asta ne oferă acum teoria moleculară a codului genetic. Înțeleg aici „teoria codului genetic" în sens larg, pentru a include în ea nu numai noțiunile referitoare la structura chimică a materialului ereditar și a informației pe care o poartă, ci

și mecanismele moleculare de exprimare, morfogenetică și fiziologică, a acestei informații. Definită astfel, teoria codului genetic constituie fundamentul biologiei. Ceea ce nu înseamnă, bineînțeles, că structurile și funcțiile complexe ale organismelor pot fi *deduse* din teorie, nici măcar că ele ar fi întotdeauna analizabile la scară moleculară. (Nu se poate nici prezice, nici rezolva întreaga chimie cu ajutorul teoriei cuantice, care constituie, totuși, nimeni nu se îndoiește de aceasta, baza ei universală).

Dar dacă teoria moleculară a codului nu poate în prezent (și, fără îndoială, nu va putea niciodată) să prezică și să rezolve întreaga biosferă, ea constituie, totuși, încă de pe acum o teorie generală a sistemelor vii. Pînă la apariția biologiei moleculare nu exista nimic asemănător în cunoașterea științifică. Pe atunci „secretul vieții" putea să pară chiar în principiu inaccesibil. Astăzi el este în mare măsură dezvăluit. Acest eveniment considerabil ar trebui, se pare, să aibă o mare pondere în gîndirea contemporană de îndată ce semnificația generală și implicațiile teoriei vor fi înțelese și apreciate dincolo de cercul specialiștilor. Sper ca prezentul studiu să poată fi o contribuție în această direcție. Am căutat să reliefez nu atît noțiunile înseși ale biologiei moderne, ci „forma" lor și să clarific relațiile lor logice cu alte domenii ale gîndirii.

Astăzi e imprudent, pentru un om de știință, să folosească termenul de „filozofie", fie ea și „naturală", în titlul (sau chiar în subtitlul) unei lucrări. E garanția că ea va fi primită cu neîncredere de oamenii de știință și, în cel mai bun caz, cu condescendență de filozofi. Nu am decît o scuză, dar o cred întemeiată: datoria pe care o au oamenii de știință — azi mai mult ca oricînd — de a-și gîndi disciplina în ansamblul culturii moderne pentru a o îmbogăți pe aceasta nu numai cu cunoștințe importante sub raport tehnic, ci și cu idei venite din știința lor, pe care le pot considera semnificative sub raport uman. Chiar ingenuitatea unei priviri noi (cea a științei este întotdeauna așa) poate să arunce uneori o lumină nouă asupra unor probleme vechi.

Rămîne, desigur, să evităm orice confuzie între ideile *sugerate* de știință și știința însăși. Totodată, însă, trebuie fără ezitare să ducem pînă la capăt concluziile pe care le permite știința, pentru a dezvălui deplina lor semnificație. Grea încercare. Nu pretind că n-am făcut greșeli. Precizez că partea strict biologică a acestui eseu nu este cîtuși de

puţin originală. N-am făcut altceva decît să rezum noţiuni considerate ca stabilite în ştiinţa contemporană. E adevărat, importanţa relativă acordată diferitelor dezvoltări, ca şi alegerea exemplelor oferite, reflectă tendinţe personale. Capitole importante ale biologiei nu sînt nici măcar menţionate. Repet, eseul de faţă nu pretinde cîtuşi de puţin să expună întreaga biologie, dar încearcă deschis să extragă chintesenţa teoriei moleculare a codului. Răspunderea pentru generalizările ideologice pe care am crezut că le pot deduce o port, desigur, eu. Nu cred, totuşi, că greşesc dacă voi spune că aceste interpretări, în măsura în care ele nu ies din domeniul epistemologiei, vor găsi asentimentul majorităţii biologilor moderni. Îmi asum deplina responsabilitate pentru consideraţiile de ordin etic, dacă nu politic, pe care nu am vrut să le evit, oricît de periculoase ar fi ele şi chiar dacă, împotriva voinţei mele, s-ar putea să pară fie naive, fie prea ambiţioase: modestia îi stă bine savantului, dar nu şi ideilor lui, pe care *trebuie* să le apere. Şi în această privinţă am certitudinea, liniştitoare, că sînt în deplin acord cu unii dintre biologii contemporani a căror operă merită cel mai mare respect.

Trebuie să solicit îngăduinţa biologilor pentru unele consideraţii care li se vor părea fastidioase şi cea a ne-biologilor pentru ariditatea prezentării unor noţiuni „tehnice" inevitabile. Anexele îi vor putea ajuta pe cititorii interesaţi să depăşească aceste dificultăţi. Precizez că citirea pasajelor respective nu este cîtuşi de puţin indispensabilă celor ce nu ţin să înfrunte direct realităţile chimice ale biologiei.

Acest eseu are la bază o serie de conferinţe („Robbins Lectures") pe care le-am ţinut în februarie 1969 la colegiul Pomona, în California. Ţin să le mulţumesc autorităţilor colegiului pentru posibilitatea oferită de a dezvolta, în faţa unui public foarte tînăr şi pasionat, unele teme care de multă vreme constituiau pentru mine subiecte de reflecţie, dar nu şi de predare. Am făcut din aceste teme şi subiectul unui curs ţinut în anul şcolar 1969—1970 la Collège de France. Este o instituţie frumoasă şi preţioasă, care permite membrilor ei să depăşească uneori limitele stricte ale cursului care le-a fost încredinţat. Să le fim recunoscători lui Guillaume Budé şi Francisc I.

CLOS SAINT-JACQUES
Aprilie 1970

1
OBIECTE STRANII

Deosebirea dintre obiectele artificiale și obiectele naturale ni se pare tuturor imediată și lipsită de ambiguitate. Stînca, muntele, fluviul sau norul sînt obiecte naturale; un cuțit, o batistă, un automobil sînt obiecte artificiale, artefacte [1]. Dacă analizăm aceste judecăți, vom vedea, totuși, că ele nu sînt nici nemijlocite, nici strict obiective. Știm, cuțitul a fost făurit de om în scopul unei utilizări, al unei performanțe avute de la început în vedere. Obiectul materializează intenția preexistentă care i-a dat naștere, iar forma lui se explică prin performanța așteptată de la el înainte chiar ca ea să se producă. Nimic asemănător în cazul fluviului sau al stîncii, despre care știm sau gîndim că au fost fasonate de jocul liber al forțelor fizice, cărora nu le-am putea atribui nici un „proiect". Aceasta, în orice caz, dacă acceptăm postulatul de bază al metodei științifice și anume că Natura este *obiectivă* și nu *proiectivă*.

natural și artificial

Așadar, decidem că un obiect oarecare este „natural" sau artificial tocmai raportîndu-ne la propria noastră activitate, conștientă și proiectivă, tocmai pentru că noi înșine sîntem producători de artefacte. Ar fi oare posibil să se definească prin criterii obiective și generale caracteristicile obiectelor artificiale, produse ale unei activități proiective conștiente, prin opoziție cu obiectele naturale, rezultate din jocul gratuit al forțelor fizice? Pentru a ne asigura de deplina

[1] În sensul propriu: produse ale meșteșugului, ale industriei.

obiectivitate a criteriilor alese cel mai bine ar fi, desigur, să ne întrebăm dacă folosindu-le s-ar putea elabora un program care să permită unui calculator să deosebească un artefact de un obiect natural.

Un astfel de program și-ar putea găsi aplicații de cel mai mare interes. Să presupunem că o navă spațială urmează să se așeze curînd pe Venus sau pe Marte. Ce poate fi mai interesant decît să știm dacă planetele vecine cu noi sînt sau au fost, într-o epocă anterioară, locuite de ființe inteligente, capabile de o activitate proiectivă? Pentru a depista o astfel de activitate, prezentă sau trecută, este evident că ar trebui să fie recunoscute *produsele ei*, oricît de diferite ar fi de roadele unei industrii omenești. Ignorînd totul despre natura unor astfel de ființe și despre proiectele pe care puteau să le fi conceput, ar trebui ca programul să folosească numai criterii foarte generale, bazate exclusiv pe structura și forma obiectelor examinate, fără nici o referire la eventuala lor funcție.

Reiese că criteriile care trebuie să fie folosite ar fi două: 1 — regularitatea; 2 — repetiția.

Prin criteriul regularității se va încerca utilizarea faptului că obiectele naturale, fasonate de jocul forțelor fizice, nu prezintă aproape niciodată structuri geometrice simple — de exemplu, suprafețe plane, muchii rectilinii, unghiuri drepte, simetrii perfecte —, pe cînd artefactele vor prezenta în general asemenea caracteristici, chiar dacă într-un mod aproximativ și rudimentar.

Criteriul repetiției ar fi, desigur, decisiv. Materializînd un proiect mereu repetat, artefactele omoloage, destinate aceleiași folosințe, reproduc, cu unele aproximații, intențiile constante ale creatorului lor. Din acest punct de vedere, descoperirea a numeroase exemplare ale unor obiecte cu forme destul de bine definite ar fi, deci, foarte semnificativă.

Definite lapidar, acestea ar putea fi criteriile generale utilizabile. Trebuie să precizăm, între altele, că obiectele ce se cer examinate vor fi de dimensiuni *macroscopice*, și nu *microscopice*. Prin „macroscopice" trebuie să înțelegem dimensiuni măsurabile, să zicem, în centimetri; prin „microscopice" — dimensiuni care, normal, s-ar exprima în angströmi (1 cm = 10^8 ang-

strömi). Această precizare este indispensabilă, deoarece, la scară microscopică, se vor întîlni structuri atomice sau moleculare ale căror geometrii simple și repetitive nu ar reflecta, evident, o intenție conștientă și rațională, ci legi ale chimiei.

Să presupunem că programul a fost elaborat și mașina a fost realizată. Pentru a-i testa performanțele nu se poate găsi ceva mai bun decît să o facem să opereze asupra unor obiecte terestre. Să inversăm ipotezele noastre și să ne imaginăm că mașina a fost construită de experți extratereștri dornici să detecteze pe Pămînt dovezile unei activități organizate, creatoare de artefacte și să presupunem că prima navă extraterestră aterizează în pădurea Fontainebleau, să zicem lîngă satul Barbizon. Mașina examinează și compară cele două serii de obiecte cele mai remarcabile din zonă: casele din Barbizon, pe de o parte, și stîncile de la Apremont, pe de alta. Folosind criteriile regularității, simplității geometrice și repetiției, ea va decide ușor că stîncile sînt obiecte naturale, pe cînd casele sînt artefacte. **dificultățile unui program spațial**

Îndreptîndu-și apoi atenția spre obiecte de dimensiuni mai mici, mașina examinează cîteva pietricele, alături de care descoperă cristale, să spunem de cuarț. Conform acelorași criterii, ea va trebui, desigur, să decidă că, dacă pietricelele sînt naturale, cristalele de cuarț sînt obiecte artificiale. Este o judecată care pare să dovedească existența unei „erori" în structura programului, „eroare" a cărei origine este, de altfel, interesantă: dacă cristalele prezintă forme geometrice perfect definite, acest lucru se datorează faptului că structura lor macroscopică reflectă nemijlocit structura microscopică simplă și repetitivă a atomilor sau moleculelor care le constituie. Cu alte cuvinte, cristalul este expresia macroscopică a unei structuri microscopice. Această „eroare" ar fi de altfel destul de ușor de eliminat, deoarece toate structurile cristaline *posibile* sînt cunoscute.

Să presupunem, însă, că mașina studiază acum un alt tip de obiect: de exemplu, un fagure de albine sălbatice. Ea va găsi la el, evident, toate criteriile unei origini artificiale: structuri geometrice simple și repetitive ale șirurilor și celulelor constitutive, în vir-

tutea cărora fagurele va fi clasat în aceeași categorie de obiecte ca și casele din Barbizon. Ce să credem despre această judecată ? Știm că fagurele este „artificial“ în sensul că este produsul activității albinelor. Avem însă motive temeinice să socotim că această activitate este strict automată, reală, dar nu conștient proiectivă. Totuși, ca buni naturaliști ce sîntem, considerăm că albinele sînt ființe „naturale“. Oare nu este o contradicție flagrantă în a considera drept „artificial“ produsul activității automate a unei ființe „naturale“ ?

Continuînd ancheta, se va vedea curînd că, dacă există o contradicție, ea nu rezultă dintr-o eroare de programare, ci din ambiguitatea judecăților noastre. Căci dacă mașina nu mai examinează acum fagurele, ci albinele înseși, ea nu va putea să vadă în ele decît obiecte artificiale foarte elaborate. Examenul cel mai superficial va evidenția la albină elemente clare de simetrie simplă: bilaterală și translațională. De altfel, examinînd albină cu albină, programul va nota că extrema complexitate a structurii lor (numărul și poziția perilor abdominali, de exemplu, sau nervurile aripioarelor) este reprodusă cu o fidelitate extraordinară de la individ la individ. Este dovada cea mai sigură că aceste ființe sînt produsul unei activități constructive deliberate și încă de cel mai înalt rafinament. Pe baza unor probe atît de decisive, mașina nu va putea face altceva decît să semnaleze oficialităților extraterestre că a descoperit pe Pămînt o industrie față de care a lor pare fără îndoială, primitivă.

Digresiunea pe care am făcut-o și care aproape că nu este science-fiction a urmărit să ilustreze cît de greu se poate defini deosebirea, care intuitiv ni se pare totuși evidentă, dintre obiecte „naturale" și obiecte „artificiale". De fapt, pe baza criteriilor structurale (macroscopice) este fără îndoială imposibil să se ajungă la o definiție a artificialului care, incluzînd toate artefactele „veritabile", cum sînt produsele muncii omenești, să excludă obiecte atît de evident naturale ca structurile cristaline, precum și ființele vii înseși, pe care, de asemenea, am vrea să le clasificăm printre sistemele naturale.

Reflectînd la cauza confuziilor (aparente?) pe care le generează programul, se va crede, desigur, că ele

țin de faptul că am vrut să-l limităm exclusiv la considerente de formă, de structură, de geometrie, lipsind astfel noțiunea de obiect artificial de conținutul ei principal și anume că un astfel de obiect se definește, se explică, în primul rînd, prin funcția pe care este menit să o îndeplinească, prin performanța pe care o așteaptă de la el inventatorul lui. Totuși, se va vedea curînd că dacă de acum înainte se programează mașina astfel încît ea să studieze nu numai structura, ci și performanțele eventuale ale obiectelor examinate, se va ajunge la rezultate și mai decepționante.

obiecte dotate cu un proiect

Să presupunem, de exemplu, că acest nou program permite efectiv mașinii să analizeze corect structurile și performanțele a două serii de obiecte, de pildă, cai alergînd pe un cîmp și automobile circulînd pe un drum. Analiza ar duce la concluzia că aceste obiecte sînt strict comparabile, în sensul că atît unele cît și celelalte sînt concepute astfel încît să fie capabile să se deplaseze rapid, chiar dacă pe suprafețe diferite, ceea ce pune în lumină diferențele lor de structură. Iar dacă, pentru a lua un alt exemplu, vom propune mașinii să compare structurile și performanțele ochiului unui vertebrat cu cele ale unui aparat de fotografiat, programul va trebui să recunoască profundele lor analogii: lentile, diafragmă, obturator, pigmenți fotosensibili; aceleași componente nu ar putea fi aranjate în ambele obiecte decît în așa fel, încît să se obțină aceleași performanțe.

Am citat acest exemplu, clasic printre numeroase altele, de adaptare funcțională a ființelor vii, numai pentru a sublinia cît de arbitrar și de steril ar fi să negi că organul natural, ochiul, nu reprezintă realizarea unui „proiect" (cel de a capta imagini), dar să recunoști această origine aparatului de fotografiat. Ar fi cu atît mai absurd cu cît, în ultimă analiză, proiectul care „explică" aparatul nu poate fi decît același cu cel căruia ochiul îi datorează structura lui. Orice artefact este produsul activității unei ființe vii care exprimă astfel — și într-un mod deosebit de evident — una din proprietățile fundamentale ce caracterizează absolut toate ființele vii: aceea de a fi *obiecte dotate cu un proiect* care e reprezentat prin structurile lor

şi, totodată, împlinit prin performanţele lor (de exemplu, crearea de artefacte).

În loc să se respingă această noţiune (cum au încercat să o facă unii biologi), este, dimpotrivă, indispensabil să fie recunoscută ca esenţială pentru însăşi definirea fiinţelor vii. Vom spune că ele se deosebesc de toate celelalte structuri ale tuturor sistemelor prezente în univers prin proprietatea aceasta, pe care o vom numi *teleonomie*.

Se va observa totuşi că dacă pentru definirea fiinţelor vii această noţiune este necesară, ea nu este suficientă, deoarece nu propune criterii obiective care să permită deosebirea fiinţelor vii înseşi de artefacte, produse ale activităţii lor.

Nu este deajuns să notăm că proiectul care dă naştere unui artefact aparţine animalului care l-a creat şi nu obiectului artificial însuşi. Această noţiune evidentă este încă prea subiectivă, iar dovada este că ar fi greu s-o folosim în programul unui calculator: cum să stabilească el că proiectul captării imaginilor, proiect reprezentat de un aparat de fotografiat, aparţine altui obiect decît aparatul însuşi? Prin simpla examinare a structurii finite şi analizarea performanţelor lui este posibil să se identifice proiectul, dar nu şi autorul lui.

Pentru a reuşi acest lucru este nevoie de un program care să studieze nu numai obiectul actual, ci şi originea lui, istoria lui şi, pentru început, modul în care este construit. Nimic nu împiedică, în principiu, posibilitatea formulării unui astfel de program. Chiar în cazul în care ar fi destul de primitiv, acest program ar permite să se constate o diferenţă radicală între un artefact foarte perfecţionat şi o fiinţă vie. Maşina nu ar putea, de fapt, să nu constate că structura macroscopică a unui artefact (fie el un fagure de albină, un baraj construit de castori, un toporaş paleolitic sau o navă spaţială) rezultă din aplicarea asupra materialelor care îl constituie a unor forţe *exterioare* obiectului însuşi. Structura macroscopică, odată terminată, nu spune nimic despre forţele de coeziune interne între atomii sau moleculele care constituie materialul (şi care nu-i conferă acestuia decît proprietăţile lui gene-

rale de densitate, duritate, ductilitate etc.), ci despre forțele *externe* care au *modelat-o*.

Programul, în schimb, va trebui să înregistreze faptul că structura unei ființe vii rezultă dintr-un proces totalmente diferit prin aceea că el nu datorează aproape nimic acțiunii unor forțe exterioare, însă datorează totul, de la forma generală și pînă la cel mai mic amănunt, unor interacțiuni „morfogenetice" interioare obiectului însuși. Este o structură care demonstrează, deci, un determinism autonom, precis, riguros, implicînd o „libertate" cvasitotală față de agenți sau factori exteriori, capabili, desigur, să tulbure această dezvoltare, dar nu să o dirijeze, să-i impună obiectului viu organizarea lui. Prin caracterul autonom și spontan al proceselor morfogenetice care construiesc structura macroscopică a ființelor vii, acestea se disting în mod absolut de artefacte, ca și, de altfel, de majoritatea obiectelor naturale, a căror morfologie macroscopică rezultă în mare măsură din acțiunea unor agenți exteriori. Cu o excepție: din nou cristalele, a căror geometrie caracteristică reflectă interacțiunile microscopice interne ale obiectului însuși. Dacă s-ar ține seama numai de acest criteriu, cristalele ar fi, deci, clasificate laolaltă cu ființele vii, în timp ce artefactele și obiectele naturale, modelate și unele și celelalte de agenți exteriori, ar constitui o altă clasă.

mașini care se construiesc singure

Faptul că în virtutea acestui criteriu, ca și a celor ale regularității și repetitivității, trebuie să existe o apropiere între structurile cristaline și cele ale ființelor vii ar putea să-i dea de gîndit programatorului chiar dacă ignoră biologia modernă: el se va întreba dacă forțele interne care conferă ființelor vii structura lor microscopică nu sînt cumva de aceeași natură cu interacțiunile microscopice răspunzătoare de morfologiile cristaline. Că lucrurile stau într-adevăr așa constituie una din principalele teme dezvoltate în capitolele următoare ale acestui eseu. Deocamdată, încercăm să definim prin criterii absolut generale proprietățile macroscopice care diferențiază ființele vii de toate celelalte obiecte din Univers.

După ce „a descoperit" că formarea structurilor extrem de complexe ale ființelor vii este asigurată de

un determinism intern, autonom, programatorul nostru, ignorant în biologie, dar informatician de profesie, ar trebui necesarmente să vadă că astfel de structuri reprezintă o cantitate considerabilă de informație, căreia, prin urmare, rămîne să i se stabilească sursa: căci orice informație exprimată, deci recepționată, presupune un emițător.

mașini care se reproduc

Să admitem că, urmîndu-și ancheta, el face, în sfîrșit, ultima lui descoperire și anume că emițătorul informației exprimate în structura unei ființe vii este *întotdeauna* un alt obiect identic cu primul. El a identificat acum sursa și a recunoscut o a treia proprietate remarcabilă a acestor obiecte: capacitatea de a reproduce și transmite *ne varietur* informația care corespunde structurii lor. O informație foarte bogată, deoarece ea descrie o organizare excesiv de complexă, dar integral conservată de la o generație la următoarea. Vom desemna această proprietate prin termenul de *reproducere invariantă* sau, simplu, *invarianță.*

Vom remarca aici că prin proprietatea reproducerii invariante, ființele vii și structurile cristaline sînt din nou asociate și opuse tuturor celorlalte obiecte cunoscute din univers. Se știe, într-adevăr, că unele corpuri, în soluție suprasaturată, nu cristalizează decît dacă se inoculează soluției germeni de cristale. De altfel, cînd este vorba de un corp capabil să cristalizeze în două sisteme diferite, structura cristalelor care vor apărea în soluție va fi determinată de structura germenilor folosiți. Structurile cristaline reprezintă, însă, o cantitate de informație inferioară cu cîteva ordine de mărime celei transmise de la o generație la alta în cazul ființelor vii celor mai simple pe care le cunoaștem. Acest criteriu, pur cantitativ, trebuie să subliniem, permite să deosebim ființele vii de toate. celelalte obiecte, inclusiv cristalele.

* * *

Și acum să-l abandonăm reflecțiilor sale pe programatorul extraterestru, presupus ignorant într-ale biologiei. Experiența noastră imaginară n-a avut alt scop decît să ne silească să „redescoperim" proprietățile cele mai generale care caracterizează ființele vii și le deosebesc de restul Universului. Să recunoaștem

acum că ştim biologie (cît poate fi ea cunoscută azi) pentru a analiza mai îndeaproape şi a încerca să definim mai precis, cantitativ dacă se poate, proprietăţile aflate în discuţie. Am găsit trei: teleonomie, morfogeneză autonomă, invarianţă reproductivă.

Dintre aceste trei proprietăţi, *invarianţa* reproductivă este cel mai uşor de definit cantitativ. Întrucît este vorba de capacitatea de a reproduce o structură cu un înalt grad de ordine şi întrucît gradul de ordine al unei structuri poate fi definit în unităţi de informaţie, vom spune că „conţinutul de invarianţă" al unei specii date este egal cu cantitatea de informaţie care, transmisă de la o generaţie la următoarea, asigură conservarea normei structurale specifice. Vom vedea că, recurgînd la unele ipoteze, este posibil să ajungem la o estimare a acestei mărimi.

proprietăţi stranii: invarianţă şi teleonomie

O dată realizat acest lucru, vom putea circumscrie mai îndeaproape noţiunea care se impune cu cele mai multe dovezi imediate cînd examinăm structurile şi performanţele fiinţelor vii, cea de teleonomie. Şi, totuşi, ea este o noţiune care la analiză se dovedeşte a fi profund ambiguă, deoarece ea implică ideea subiectivă de „proiect". Să ne amintim exemplul cu aparatul de fotografiat: dacă admitem că existenţa acestui obiect şi structura lui realizează „proiectul" de a capta imagini, în mod absolut evident trebuie să admitem că un „proiect" asemănător se împlineşte în apariţia ochiului unui vertebrat.

Dar orice proiect particular nu are sens decît ca parte a unui proiect mai general. Toate adaptările funcţionale ale fiinţelor vii, ca şi toate artefactele produse de acestea, împlinesc proiecte particulare care pot fi considerate aspecte sau fragmente ale unui proiect iniţial unic — menţinerea şi înmulţirea speciei.

Pentru a fi mai precişi, vom alege la întîmplare drept proiect teleonomic esenţial transmiterea de la o generaţie la alta a conţinutului de invarianţă caracteristic speciei. Toate structurile, toate performanţele, toate activităţile care contribuie la succesul proiectului esenţial vor fi deci numite „teleonomice".

Acest lucru permite propunerea unei definiţii de principiu a „nivelului" teleonomic al unei specii. Se poate, într-adevăr, considera că toate structurile şi

performanțele teleonomice corespund unei anumite cantități de informație care trebuie să fie transferată pentru ca aceste structuri și performanțe să se realizeze. Să numim această cantitate „informația teleonomică". Acum putem considera că „nivelul teleonomic" al unei specii date corespunde cantității de informație care trebuie să fie transferată, în medie, pe individ, pentru a asigura transmiterea la generația următoare a conținutului specific de invarianță reproductivă.

Se va vedea cu ușurință că înfăptuirea proiectului teleonomic fundamental (adică reproducerea invariantă) implică, la specii diferite și pe trepte diferite ale scării animale, structuri și performanțe variate, mai mult sau mai puțin elaborate și complexe. Trebuie să insistăm asupra faptului că este vorba nu numai de activitățile direct legate de reproducția propriu-zisă, ci de toate cele care contribuie, fie și indirect, la supraviețuirea și înmulțirea speciei. De exemplu, la tinerele mamifere superioare jocul este un element important de dezvoltare psihică și de inserție socială. El are deci o valoare teleonomică, întrucît participă la coeziunea grupului, condiție a supraviețuirii acestuia și a extinderii speciei. Ar trebui, deci, estimat gradul de complexitate al tuturor acestor performanțe sau structuri, concepute ca avînd drept funcție servirea proiectului teleonomic.

Această mărime, care poate fi definită teoretic, nu este măsurabilă în practică. Ea permite, însă, măcar ordonarea, în mare, a diferitelor specii sau grupuri pe o „scară teleonomică". Pentru a lua un exemplu extrem, să ne imaginăm un poet îndrăgostit și timid, care nu îndrăznește să-și mărturisească dragostea femeii pe care o iubește și nu știe să-și exprime dorința decît simbolic, în poeziile pe care i le dedică. Să presupunem că femeia, în sfîrșit sedusă de aceste omagii rafinate, consimte să facă dragoste cu poetul. Poeziile lui au contribuit la succesul proiectului esențial, astfel că informația conținută de ele ar trebui contabilizată în suma performanțelor teleonomice care asigură transmiterea invarianței genetice.

Este clar că succesul proiectului nu comportă nici o performanță analogă la alte specii animale, de exemplu la șoarece. Dar, și tocmai aceasta este important,

conținutul de invarianță genetică este aproximativ același la șoarece și la om (de fapt, la toate mamiferele). *Cele două mărimi pe care am căutat să le definim sînt, deci, destul de deosebite.*

Acest lucru ne duce la examinarea unei chestiuni foarte importante privitoare la relațiile dintre cele trei proprietăți pe care le-am recunoscut drept caracteristice pentru ființele vii: teleonomie, morfogeneză autonomă și invarianță. Faptul că programul utilizat le-a identificat succesiv și independent una de alta nu constituie o dovadă că ele n-ar fi pur și simplu trei manifestări ale unei aceleiași proprietăți unice mai fundamentale și mai ascunse, inaccesibilă oricărei observații directe. Dacă ar fi așa, încercarea de a separa cele trei proprietăți, de a face deosebire între ele, căutîndu-le definiții diferite, s-ar putea să se dovedească a fi urmărirea unei iluzii, un act arbitrar. Departe de a pune în lumină adevăratele probleme, de a surprinde „secretul vieții", de a-l diseca într-adevăr, nu am face altceva decît să-l exorcizăm.

Este perfect adevărat că cele trei proprietăți sînt strîns asociate la toate ființele vii. Invarianța genetică nu se exprimă și nu se dezvăluie decît prin intermediul și datorită morfogenezei autonome a structurii care constituie aparatul teleonomic.

Se impune o primă observație: cele trei noțiuni nu au același statut. Dacă invarianța și teleonomia sînt efectiv „proprietăți" caracteristice ale ființelor vii, structurarea spontană trebuie să fie considerată mai degrabă un mecanism. Vom vedea, de altfel, în capitolele următoare, că acest mecanism intervine atît în reproducerea informației invariante, cît și în construirea structurilor teleonomice.

Faptul că acest mecanism reflectă, la urma urmelor, cele două proprietăți nu înseamnă, totuși, că ele trebuie să fie confundate. Rămîne posibil, și, de fapt, indispensabil să se facă distincție între ele și aceasta din mai multe motive.

1. Se pot cel puțin *imagina* obiecte capabile de reproducere invariantă, dar lipsite de orice aparat teleonomic. Structurile cristaline oferă un exemplu, ce-i drept la un nivel de complexitate mult inferior celui al tuturor ființelor vii cunoscute.

2. Deosebirea dintre teleonomie şi invarianţă nu este o simplă abstracţie logică. Ea este justificată de considerente chimice. Într-adevăr, din cele două clase de macromolecule biologice esenţiale, una, cea a proteinelor, este răspunzătoare de aproape toate structurile şi performanţele teleonomice, în timp ce invarianţa genetică este legată exclusiv de cealaltă clasă, a acizilor nucleici.

3. În sfîrşit, aşa cum se va vedea în capitolul următor, această deosebire este, explicit sau nu, presupusă în toate teoriile, toate construcţiile ideologice (religioase, ştiinţifice sau metafizice) referitoare la biosferă şi la relaţiile ei cu restul universului.

* * *

Fiinţele vii sînt obiecte stranii. Mai mult sau mai puţin confuz, oamenii trebuie să fi ştiut acest lucru din totdeauna. Dezvoltarea ştiinţelor naturii începînd din secolul al XVII-lea, înflorirea lor începînd cu secolul al XIX-lea, departe de a şterge această impresie de stranietate, au făcut-o şi mai acută. Prin prisma legilor fizice care guvernează sistemele macroscopice, însăşi existenţa fiinţelor vii părea să constituie un paradox, să violeze unele din principiile fundamentale pe care se bazează ştiinţa modernă. Care anume? Acest lucru nu este nemijlocit clar. Se impune, deci, să se analizeze chiar natura acestui sau acestor „paradoxuri". Astfel, vom avea ocazia să precizăm statutul pe care-l au, prin prisma legilor fizicii, cele două proprietăţi esenţiale care caracterizează fiinţele vii: invarianţa reproductivă şi teleonomia.

„paradoxul" invarianţei

Invarianţa pare, într-adevăr, de la început, să constituie o proprietate profund paradoxală, deoarece menţinerea, reproducerea, înmulţirea unor structuri cu un înalt grad de ordine par incompatibile cu principiul al doilea al termodinamicii. Acest principiu impune, de fapt, ca orice sistem macroscopic să nu poată evolua decît în sensul degradării ordinii care îl caracterizează. [1]

Această predicţie a celui de-al doilea principiu al termodinamicii nu este, totuşi, valabilă şi verificabilă

---

[1] Vezi *Anexe*, p. 165.

decît dacă se are în vedere evoluţia de ansamblu a unui sistem *izolat sub raport energetic*. Înăuntrul unui astfel de sistem, într-una din fazele lui, se va putea observa formarea şi creşterea unor structuri ordonate, fără ca aceasta să însemne că evoluţia de ansamblu a sistemului nu mai ascultă de principiul al doilea. Cel mai bun exemplu în această privinţă ni-l oferă cristalizarea unei soluţii saturate. Termodinamica unui astfel de sistem este bine cunoscută. Creşterea locală a ordinii, creştere pe care o reprezintă asamblarea unor molecule, iniţial dezordonate, într-o reţea cristalină perfect definită se „plăteşte" printr-un transfer de energie termică de la faza cristalină la soluţie: entropia (dezordinea) sistemului în ansamblul lui creşte cu cantitatea prescrisă de principiul al doilea.

Exemplul acesta arată că o creştere locală a ordinii, într-un sistem izolat, este compatibilă cu principiul al doilea. Am subliniat, însă, că gradul de ordine pe care-l reprezintă un organism, chiar şi cel mai simplu, este incomparabil mai ridicat decît cel care caracterizează un cristal. Trebuie să ne întrebăm dacă menţinerea şi înmulţirea invariantă a unor astfel de structuri este, de asemenea, compatibilă cu principiul al doilea. Aceasta se poate verifica printr-o experienţă comparabilă îndeaproape cu cea a cristalizării.

Să luăm un mililitru de apă care conţine cîteva miligrame dintr-un zahar simplu, cum ar fi glucoza, ca şi săruri minerale cuprinzînd elementele esenţiale din compunerea constituenţilor chimici ai fiinţelor vii (azot, fosfor, sulf etc.). Să însămînţăm în acest mediu o bacterie, de exemplu, una din specia *Escherichia coli* (lungime 2 microni, greutate aproximativ 5×10^{-13} g). După un interval de 36 de ore soluţia va conţine cîteva miliarde de bacterii. Vom constata că 40% din zahăr a fost convertit în constituenţi celulari, în timp ce restul a fost oxidat în CO_2 şi H_2O. Efectuînd întreaga experienţă într-un calorimetru se poate stabili bilanţul termodinamic al operaţiei şi se poate constata că, la fel ca în cazul cristalizării, entropia ansamblului sistemului (bacterii+mediu) a crescut cu puţin mai mult de minimumul prescris de principiul al doilea. Astfel, în timp ce structura extrem de complexă pe care o reprezintă celula bacteriană a fost nu numai

menţinută, ci şi înmulţită de cîteva miliarde de ori, datoria termodinamică corespunzătoare operaţiei a fost achitată aşa cum se cuvenea.

Nu există, deci, nici o încălcare precizabilă sau măsurabilă a principiului al doilea. Totuşi, cînd asistăm la acest fenomen, intuiţia noastră fizică nu se poate să nu fie profund tulburată şi să nu perceapă, chiar mai mult decît înaintea experienţei, întreaga lui stranietate. De ce? Pentru că vedem clar că acest proces este abătut, adică orientat într-o direcţie exclusivă: înmulţirea celulelor. Acestea, desigur, nu încalcă legile termodinamicii, ci dimpotrivă. Ele nu se mulţumesc să li se supună; ele le utilizează, cum ar face un bun inginer, pentru a înfăptui cu maximum de eficacitate proiectul, pentru a realiza „visul" (F. Jacob) oricărei celule: de a deveni două celule.

teleonomie şi principiul obiectivităţii

Vom încerca, într-un alt capitol, să dăm o idee despre complexitatea, rafinamentul şi eficacitatea maşinăriei chimice necesare pentru realizarea acestui proiect care presupune sinteza cîtorva sute de constituenţi organici diferiţi, asamblarea lor în cîteva mii de specii macromoleculare, mobilizarea şi utilizarea, acolo unde este nevoie, a energiei chimice, eliberate prin oxidarea zahărului, construcţia de organite celulare. Şi, totuşi, nu există nici un paradox fizic în reproducerea invariantă a acestor structuri: costul termodinamic al invarianţei este plătit, întru totul, datorită perfecţiunii aparatului teleonomic, care, avar cu caloriile, atinge în realizarea sarcinii sale infinit de complexe un randament rareori egalat de maşinile produse de om. Acest aparat este pe deplin logic, uluitor de raţional, perfect adaptat la proiectul lui: menţinerea şi reproducerea normei structurale. Şi, aceasta, nu încălcînd, ci folosind legile fizicii în beneficiul exclusiv al idiosincrasiei sale personale. „Miracolul" constă în însăşi existenţa acestui proiect realizat şi, totodată, urmărit de aparatul teleonomic. Miracol? Nu, adevărata problemă se pune la un alt nivel, mai adînc decît cel al legilor fizicii; este vorba de modul în care înţelegem, în care intuim fenomenul. De fapt nu este vorba nici de paradox, nici de miracol, ci de o flagrantă *contradicţie* epistemologică.

Piatra unghiulară a metodei științifice este postulatul obiectivității naturii. Cu alte cuvinte, refuzul *sistematic* de a considera că interpretarea unor fenomene în termeni de cauze ultime, adică de „proiect", ar putea să ducă la o cunoaștere „adevărată". Descoperirea acestui principiu poate fi datată cu exactitate. Formularea, de către Galilei și Descartes, a principiului inerției întemeia nu numai mecanica, ci și epistemologia științei moderne, abolind fizica și cosmologia lui Aristotel. Desigur, predecesorilor lui Descartes nu le-au lipsit nici rațiunea, nici logica, nici experiența, nici măcar ideea de a le confrunta sistematic. Dar știința, așa cum o înțelegem noi astăzi, nu se putea constitui numai pe aceste baze. Mai era nevoie și de cenzura austeră stabilită de postulatul existenței obiective. Postulat pur, pe veci nedemonstrabil, deoarece este evident imposibil de imaginat o experiență care să poată dovedi *inexistența* unui proiect, a unui scop urmărit, oriunde în natură.

Dar postulatul existenței obiective este consubstanțial științei, el a orientat întreaga ei dezvoltare prodigioasă de trei secole încoace. Este imposibil de a-l abandona, fie și provizoriu sau într-un domeniu limitat, fără a ieși din domeniul științei înseși.

Obiectivitatea ne obligă totuși să recunoaștem caracterul teleonomic al ființelor vii, să admitem că, în structurile și performanțele lor, ele realizează și continuă un proiect. Există, deci, aici, cel puțin în aparență, o profundă contradicție epistemologică. Aceasta este chiar problema centrală a biologiei, căreia trebuie, fie să i se găsească o soluție, dacă ea nu este o aparență, fie să i se demonstreze radicala irezolvabilitate, dacă lucrurile stau într-adevăr așa.

2
VITALISME ŞI ANIMISME

prioritatea invarianţei sau teleonomiei: o dilemă fundamentală

Prin însuşi faptul că proprietăţile teleonomice ale fiinţelor vii par să pună sub semnul îndoielii unul din postulatele de bază ale teoriei moderne a cunoaşterii, orice concepţie despre lume — filozofică, religioasă, ştiinţifică — presupune *în mod necesar* o soluţie, implicită sau nu, a acestei probleme. La rîndu-i, orice soluţie, indiferent de motivaţia ei, implică la fel de inevitabil o ipoteză cu privire la prioritatea, cauzală şi temporală, a celor două proprietăţi ale fiinţelor vii (invarianţa şi teleonomia), fiecare în raport cu cealaltă.

Rezervăm unui capitol ulterior expunerea şi argumentele ipotezei considerate ca fiind unica acceptabilă în lumina ştiinţei moderne şi anume că invarianţa precede în mod necesar teleonomia. Sau, pentru a fi mai explicit, ideea darwiniană că apariţia, evoluţia, rafinarea progresivă a structurilor tot mai intens teleonomice se datorează unor perturbări survenite într-o structură care *posedă deja proprietatea invarianţei*, capabilă prin urmare să „conserve întîmplarea" şi, astfel, să supună efectele ei jocului selecţiei naturale.

Bineînţeles, teoria pe care o schiţez aici pe scurt şi dogmatic nu este aceea a lui Darwin însuşi, care nu putea la timpul său să aibă vreo idee de mecanismele chimice ale invarianţei reproductive sau de natura perturbărilor pe care le suferă aceste mecanisme. Nu diminuăm, însă, cîtuşi de puţin geniul lui Darwin constatînd că teoria selectivă a evoluţiei şi-a putut

dobîndi sensul deplin, toată precizia, toată certitudinea ei abia în ultimii mai puțin de douăzeci de ani.

Pînă acum teoria selectivă este singura propusă, care, făcînd din teleonomie o proprietate secundară, derivată din invarianță, considerată drept singura primară, este compatibilă cu postulatul existenței obiective. Totodată, ea este singura nu numai compatibilă cu fizica modernă ci și bazată pe ea, fără restricții sau adăugări. În definitiv, tocmai teoria evoluției selective îi asigură biologiei coerența epistemologică și îi conferă locul printre științele „Naturii obiective". Este un argument, desigur, puternic în favoarea teoriei, dar insuficient ca s-o justifice.

Toate celelalte concepții care au fost explicit propuse pentru a explica stranietatea ființelor vii sau care sînt în mod implicit ambalate în ideologiile religioase, ca și în majoritatea marilor sisteme filozofice, presupun ipoteza inversă, anume că *invarianța este protejată, ontogenia este dirijată, evoluția este orientată* de un principiu teleonomic inițial, toate aceste fenomene fiind manifestări ale lui. În capitolul de față voi analiza schematic logica acestor interpretări, foarte diferite în aparență, dar care, toate, implică renunțarea parțială sau totală, recunoscută sau nu, conștientă sau nu, la postulatul obiectivității. În acest scop va fi comod să adoptăm o clasificare (ce-i drept, puțin arbitrară) a acestor concepții conform naturii și extensiei presupuse a principiului teleonomic la care se referă.

Astfel, se poate defini, pe de o parte, un prim grup de teorii, care admit un principiu teleonomic despre care se presupune în mod expres că nu operează decît în domeniul biosferei, al „materiei vii". Aceste teorii, pe care le voi numi *vitaliste*, implică, deci, o distincție radicală între ființele vii și universul neînsuflețit.

De altă parte, se pot grupa concepțiile care invocă un principiu teleonomic *universal*, răspunzător, atît de evoluția cosmică, cît și de cea a biosferei, înăuntrul căreia s-ar exprima însă mai precis și mai intens. Aceste teorii văd în ființele vii produsele cele mai elaborate, cele mai perfecte, ale unei evoluții universal orientate, care a ajuns, pentru că *trebuia* să ajungă, la om și la umanitate. Aceste concepții, pe care le voi numi „ani-

miste", sînt în multe privințe mai interesante decît teoriile vitaliste, cărora le voi consacra doar o sumară prezentare [1].

*

* *

Printre teoriile vitaliste se pot surprinde tendințe foarte diverse. Ne vom mulțumi aici să facem o distincție între ceea ce aș numi „vitalismul metafizic" și „vitalismul scientist".

vitalism metafizic

Cel mai ilustru promotor al unui vitalism metafizic a fost, fără îndoială, Bergson. Se știe că grație unui stil seducător, unei dialectici metaforice lipsite de logică dar nu și de poezie, această filozofie a cunoscut un imens succes. Se pare că acum ea este aproape total discreditată, dar în tinerețea mea nu puteai spera să reușești la bacalaureat dacă nu ai citit „Evoluția creatoare". Trebuie, deci, să amintim că această filozofie se bazează integral pe concepererea vieții ca un „elan", ca un „curent", radical deosebit de materia „neînsuflețită", dar luptînd cu ea, „traversînd-o" pentru a o obliga să se organizeze. Contrar aproape tuturor celorlalte vitalisme sau animisme, cel al lui Bergson nu este finalist. El refuză să închidă spontaneitatea de esență a vieții în vreo determinare. Evoluția, care se identifică cu elanul vital însuși, nu poate, deci, să aibă nici cauze finale, nici cauze eficiente. Omul este stadiul suprem la care a ajuns evoluția, dar fără să-l fi căutat sau prevăzut. El este mai degrabă manifestarea și dovada libertății depline a elanului creator.

Acestei concepții i se asociază o alta, considerată de Bergson ca fundamentală: inteligența rațională este un instrument de cunoaștere special adaptat stăpînirii materiei inerte, dar total incapabilă să înțeleagă fenomenele vieții. Numai instinctul, consubstanțial elanului vital, poate să ofere o intuire directă, globală a lor. Orice discurs analitic și rațional despre viață este, deci, lipsit de sens sau, mai degrabă, în afara subiectului. Înalta dezvoltare a inteligenței raționale la *Homo sapiens* a determinat o gravă și regretabilă sără-

[1] Poate trebuie să subliniez că aici folosesc calificativele de „animist" și „vitalist" într-o accepție particulară, întrucîtva diferită de cea comună.

cire a capacităților sale de intuire, a căror bogăție trebuie să încercăm acum s-o redobîndim.

Nu voi încerca să discut această filozofie (de altfel, ea nici nu se pretează la așa ceva). Prizonier al logicii și sărac în intuiții globale, mă simt incapabil s-o fac. Totuși nu consider că atitudinea lui Bergson este lipsită de importanță, ci dimpotrivă. Revolta, conștientă sau nu, împotriva raționalului, respectul acordat lui *Id* în defavoarea lui *Ego* sînt amprente ale timpului nostru (fără a mai vorbi de spontaneitatea creatoare). Dacă Bergson ar fi folosit un limbaj mai puțin clar, un stil mai „profund", el ar fi azi recitit [1].

*

* *

Vitaliștii „științifici" au fost numeroși și printre ei se numără savanți foarte distinși. Dar dacă în urmă cu cincizeci de ani vitaliștii se recrutau din rîndurile biologilor (dintre care cel mai cunoscut, Driesch, a abandonat embriologia în favoarea filozofiei), contemporanii provin mai ales din științele fizice, ca dl. Elsässer și dl. Polanyi. Se poate înțelege, desigur, că fizicienii au fost izbiți, mai mult chiar decît biologii, de stranietatea ființelor vii. Rezumată pe scurt, atitudinea domnului Elsässer, de exemplu, este următoarea. **vitalism scientist**

Fără îndoială, proprietățile stranii, invarianța și teleonomia, nu violează fizica, dar ele nu sînt în întregime explicabile cu ajutorul forțelor fizice și al interacțiunilor chimice dezvăluite de studierea sistemelor nevii. Este, deci, indispensabil să se admită că există unele principii care, *adăugîndu-se* celor ale fizicii, acționează în materia vie dar nu și în sistemele nevii, unde, în consecință, aceste principii selectiv vitale n-ar putea fi descoperite. Deci, ar trebui să se descopere aceste principii (sau legi biotonice, pentru a folosi terminologia lui Elsässer).

---

[1] Gîndirea lui Bergson nu este lipsită, bineînțeles, de obscurități și nici de contradicții aparente. Se poate contesta, de exemplu, pare-se, că dualismul bergsonian ar fi de esență: poate că el trebuie să fie considerat ca derivat dintr-un monism mai primitiv? (C. Blanchard, comunicare personală). Firește, n-am intenția să analizez aici gîndirea lui Bergson în ramificațiile ei, ci doar în implicațiile ei cele mai directe cu privire la teoria sistemelor vii.

Nici marele Niels Bohr nu respingea, pare-se, astfel de ipoteze. El nu pretindea, totuşi, să aducă dovada că ele ar fi necesare. Oare sînt ele necesare? La urma urmelor, în aceasta rezidă problema. Este ceea ce afirmă mai ales Elsässer şi Polanyi. Minimum ce am putea spune este că argumentarea acestor fizicieni suferă grav de lipsă de rigoare şi fermitate.

Argumentele de mai sus se referă la fiecare din proprietăţile stranii. În ceea ce priveşte invarianţa, mecanismul ei este astăzi destul de bine cunoscut pentru a putea afirma că nu este necesar nici un principiu *nefizic* pentru interpretarea ei (cf. capitolul 6). Rămîne teleonomia sau mai exact mecanismele morfogenetice care construiesc structurile teleonomice. Este perfect adevărat că dezvoltarea embrionului este unul din fenomenele aparent cele mai miraculoase din întreaga biologie. E adevărat, de asemenea, că aceste fenomene, admirabil descrise de embriologi, mai scapă în bună măsură (din motive tehnice) analizei genetice şi biochimice, singura care, absolut evident, va putea să permită explicarea lor. Atitudinea vitaliştilor, care consideră că legile fizicii sînt sau se vor dovedi, în orice caz, insuficiente pentru explicarea embriogenezei, nu se justifică, deci, prin cunoştinţe precise, prin observaţii duse pînă la capăt, ci exclusiv prin actuala noastră ignoranţă.

În schimb, cunoştinţele noastre despre mecanismele cibernetice moleculare care reglează activitatea şi creşterea celulară au făcut progrese considerabile şi vor contribui, fără îndoială, într-un viitor apropiat la interpretarea dezvoltării. Rezervăm capitolul 4 discutării acestor mecanisme, ceea ce ne va da ocazia să revenim asupra anumitor argumente ale vitaliştilor. Pentru a supravieţui, vitalismul are nevoie ca în biologie să subziste, dacă nu autentice paradoxuri, cel puţin nişte „mistere". Progresele care au avut loc în ultimii douăzeci de ani în biologia moleculară au restrîns spectaculos domeniul misterelor, lăsînd larg deschis speculaţiilor vitaliste doar terenul subiectivităţii: cel al conştiinţei însăşi. Nu e riscant să prevedem că în acest domeniu, deocamdată încă „rezervat", amintitele speculaţii se vor dovedi tot atît de sterile ca în toate domeniile unde s-au exercitat pînă în prezent.

*

* *

Venite din copilăria omenirii, anterioare poate apariției lui *Homo sapiens*, concepțiile animiste mai au rădăcini adînci și trainice în sufletul omului modern.

Strămoșii noștri nu puteau, desigur, să perceapă decît confuz stranietatea condiției lor. Ei nu aveau motivele pe care le avem noi astăzi de a se simți străini față de universul asupra căruia deschideau ochii. Ce vedeau ei în primul rînd? Animale, plante; ființe cărora puteau de la început să le ghicească natura, asemănătoare cu a lor. Plantele cresc, caută soarele, mor; animalele își vînează prada, își atacă dușmanii, își hrănesc și își apără progenitura; masculii se bat pentru posedarea unei femele. Plantele, animalele, ca și omul însuși, se explicau ușor: aceste ființe au un proiect care este de a trăi și de a supraviețui în descendenții lor, chiar cu prețul propriei morți. Proiectul explică ființa, iar ființa nu are sens decît prin proiectul ei.

„proiecția animistă" și „vechea alianță"

Strămoșii noștri vedeau, însă, în jurul lor și alte obiecte, considerabil mai misterioase: stînci, fluvii, munți, furtuna, ploaia, corpurile cerești. De vreme ce aceste obiecte existau, aceasta trebuia să se întîmple tot pentru un proiect și ca ele să aibe un suflet care să-l nutrească. Astfel se rezolva pentru acești oameni stranietatea universului: nu există, în realitate, obiecte neînsuflețite, ceea ce ar fi de neînțeles. În adîncul fluviului, pe culmea muntelui, suflete mai secrete nutresc proiecte mai ample și mai de nepătruns decît cele, transparente, ale oamenilor sau animalelor. Astfel, strămoșii noștri reușeau să vadă în formele și evenimentele naturii acțiunea unor forțe binevoitoare sau ostile, dar niciodată indiferente, niciodată total străine.

Demersul esențial al animismului (așa cum înțeleg să-l definesc aici) constă într-o proiectare în natura neînsuflețită a conștiinței omului despre funcționarea intens teleonomică a propriului său sistem nervos central. Cu alte cuvinte, este ipoteza că fenomenele naturale pot fi și trebuie să fie explicate, la urma urmelor, în același fel, prin aceleași „legi" ca și activitatea omenească subiectivă, conștientă și proiectivă. Animismul primitiv formula această ipoteză cu toată naivi-

tatea, sinceritatea și precizia, populînd astfel natura cu mituri grațioase sau amenințătoare, care timp de secole au alimentat arta și poezia.

Ar fi greșit să zîmbim, chiar cu tandrețea și respectul pe care le inspiră copilăria. Se poate, oare, crede că cultura modernă a renunțat realmente la interpretarea subiectivă a naturii? Animismul stabilea între natură și om o profundă alianță, în afara căreia nu părea să se întindă decît tărîmul unei înfricoșătoare singurătăți. Oare trebuie ruptă această legătură, lucru impus de postulatul existenței obiective? Istoria ideilor, începînd cu secolul al XVIII-lea, atestă eforturile risipite de cele mai mari spirite pentru a evita ruptura, pentru a făuri din nou veriga „vechii alianțe". Să ne amintim de tentative atît de grandioase ca aceea a lui Leibniz sau de enormul și apăsătorul monument ridicat de Hegel. Idealismul nu a fost cîtuși de puțin singurul refugiu al unui animism cosmic. În chiar inima anumitor ideologii care se declară și se vor fondate pe știință poți regăsi, sub o formă mai mult sau mai puțin voalată, proiecția animistă.

progresismul scientist

Filozofia biologică a lui Teilhard de Chardin n-ar merita să ne oprim asupra ei dacă n-ar fi existat succesul pe care l-a repurtat pînă și în cercurile științifice. Succes care este o dovadă a angoasei, a nevoii de a restabili alianța. Teilhard o reînnoadă, într-adevăr, fără ocolișuri. Filozofia lui, ca și aceea a lui Bergson, este în întregime fondată pe un postulat evoluționist inițial. Contrar, însă, lui Bergson, el admite că forța evolutivă acționează în întregul univers, de la particulele elementare și pînă la galaxii: nu există materie „inertă" și, deci, nici o deosebire de esență între materie și viață. Dorința de a prezenta această concepție drept „științifică" îl duce pe Teilhard la întemeierea ei pe o definiție nouă a energiei. Aceasta din urmă ar fi într-un fel distribuită pe doi vectori, dintre care unul ar fi (presupun) energia „obișnuită", pe cînd celălalt ar corespunde forței de ascensiune evolutivă. Biosfera și omul sînt produsele actuale ale acestei ascensiuni în lungul vectorului spiritual al energiei. Evoluția aceasta trebuie să continue pînă cînd toată energia va fi concentrată pe acest vector: este punctul final.

Deşi logica lui Teilhard este incertă şi stilul lui este laborios, chiar unii care nu-i acceptă în întregime ideologia îi recunosc o anumită măreţie poetică. În ceea ce mă priveşte, sînt şocat de lipsa de rigoare şi de austeritate intelectuală a acestei filozofii. Eu văd în ea mai ales o complacere sistematică în urmărirea împăcării, a tranzacţiei cu orice preţ. Poate că la urma urmei Teilhard nu a fost degeaba un membru al acelui ordin pe care, cu trei secole în urmă, Pascal îl ataca pentru lipsa lui de rigoare teologică.

Ideea de a regăsi vechea alianţă animistă cu natura sau de a întemeia una nouă cu ajutorul unei teorii universale conform căreia evoluţia biosferei pînă la om ar face parte din continuitatea neîntreruptă a însăşi evoluţiei cosmice nu a fost, bineînţeles, descoperită de Teilhard. Ea este, de fapt, ideea centrală a progresismului scientist al secolului al XIX-lea. Ea poate fi găsită chiar în inima pozitivismului lui Spencer, ca şi în aceea a materialismului dialectic al lui Marx şi Engels. Forţa necunoscută şi *incognoscibilă* care, după Spencer, acţionează în întregul univers pentru a crea diversitate, coerenţă, specializare, ordine, joacă exact acelaşi rol, în definitiv, ca şi energia „ascendentă" a lui Teilhard: istoria umană este o prelungire a evoluţiei biologice, aceasta din urmă fiind ea însăşi parte a evoluţiei cosmice. Datorită acestui principiu unic omul îşi regăseşte, în sfîrşit, în univers locul nimerit şi necesar, cu certitudinea progresului căruia îi este în continuare hărăzit.

Forţa diferenţiatoare a lui Spencer (ca şi energia ascendentă a lui Teilhard) reprezintă, evident, proiecţii animiste. Pentru a-i da naturii un sens, pentru ca omul să nu fie despărţit de ea printr-o prăpastie fără fund, pentru a o face în sfîrşit descifrabilă şi inteligibilă, *trebuia să i se atribuie un proiect*. În lipsa unui suflet care să nutrească acest proiect, se introduce în natură o „forţă" evolutivă, ascendentă, ceea ce echivalează de fapt cu renunţarea la postulatul existenţei obiective.

*

*   *

Dintre ideologiile scientiste ale secolului al XIX-lea, cea mai puternică, cea care şi în zilele noastre exer-

cită o influență profundă mult dincolo de cercul, totuși, vast al adepților ei este, evident, marxismul. De aceea și este deosebit de revelator să constatăm că, dorind să întemeieze edificiul doctrinelor lor sociale pe înseși legile naturii, Marx și Engels au recurs și ei, dar mai clar și mai deliberat decît Spencer, la „proiecția animistă".

proiecția animistă în materialismul dialectic

De fapt, mi se pare imposibil de interpretat altfel faimoasa „răsturnare" prin care Marx înlocuiește dialectica idealistă a lui Hegel cu materialismul dialectic. Postulatul lui Hegel că legile cele mai generale care guvernează universul în evoluția lui sînt de ordin dialectic își are locul în cadrul unui sistem care nu recunoaște o realitate permanentă și autentică decît spiritului. Dacă toate evenimentele, toate fenomenele nu sînt decît manifestări parțiale ale unei idei care se gîndește pe sine, este legitim să se caute în experiența subiectivă a mișcării gîndirii expresia cea mai nemijlocită a legilor universale. Și, deoarece gîndirea procedează dialectic, înseamnă că „legile dialecticii" guvernează întreaga natură. Dar a păstra ca atare aceste „legi" subiective, pentru a face din ele legile unui univers pur material, înseamnă a săvîrși o proiecție animistă absolut clară, cu toate consecințele ei, începînd cu renunțarea la postulatul existenței obiectiviste.

Nici Marx, nici Engels n-au analizat în amănunt, pentru a încerca s-o argumenteze, logica acestei răsturnări a dialecticii. Dar pe baza numeroaselor exemple aplicative pe care le dă mai ales Engels (în „Anti-Dühring" și în „Dialectica naturii") se poate încerca reconstituirea resorturilor adînci ale gîndirii fondatorilor materialismului dialectic. Articulațiile ei esențiale ar fi următoarele:

1. Modul de existență al materiei este mișcarea.

2. Universul, definit ca totalitate a materiei, singura existentă, se află într-o stare de permanentă evoluție.

3. Orice cunoaștere adevărată a universului contribuie la înțelegerea acestei evoluții.

4. Această cunoaștere, însă, nu se obține decît în interacțiunea — ea însăși evolutivă și cauzatoare de evoluție — omului cu materia (sau, mai exact, cu

„restul" materiei). Orice cunoaştere adevărată este, deci, „practică".

5. Conştiinţa se raportează la această interacţiune cognitivă. Gîndirea conştientă reflectă, prin urmare, mişcarea universului însuşi.

6. Întrucît, deci, gîndirea este parte şi reflectare a mişcării universale şi întrucît mişcarea ei este dialectică, trebuie ca legea evoluţiei universului însuşi să fie dialectică. Ceea ce explică şi justifică folosirea în legătură cu fenomenele naturale a unor termeni cum sînt contradicţie, afirmaţie, negaţie.

7. Dialectica este constructivă (datorită în special celei de a treia „legi"). Evoluţia universului este, deci, ca însăşi ascendentă şi constructivă. Cea mai înaltă expresie a ei o constituie societatea omenească, conştiinţa, gîndirea, produse necesare ale acestei evoluţii.

8. Prin accentul pus pe esenţa evolutivă a structurilor universului, materialismul dialectic depăşeşte radical materialismul secolului al XVIII-lea, care, bazat pe logica clasică, nu putea să recunoască decît interacţiuni mecanice între obiecte presupuse a fi invariante şi rămînea, deci, incapabil să conceapă evoluţia.

Se poate, desigur, contesta această reconstituire, se poate nega că ea ar corespunde cu adevărata gîndire a lui Marx şi Engels. La urma urmelor, acest lucru este, însă, secundar. Influenţa unei ideologii ţine de semnificaţia cu care rămîne în mintea adepţilor ei şi pe care i-o dau epigonii. Nenumărate texte dovedesc că reconstituirea propusă este îndreptăţită, ea reprezentînd cel puţin „popularizarea" materialismului dialectic. Nu voi cita decît un text, foarte semnificativ prin aceea că autorul lui este un ilustru biolog modern, J.B.S. Haldane. El scria în prefaţa lui la traducerea engleză a „Dialecticii naturii":

„Marxismul consideră ştiinţa sub două aspecte. În primul rînd, marxiştii studiază ştiinţa printre celelalte activităţi omeneşti. Ei arată cum activitatea ştiinţifică a unei societăţi depinde de evoluţia nevoilor ei, deci de metodele ei de producţie, pe care ştiinţa, la rîndul ei, le modifică, aşa cum modifică şi nevoile societăţii. În al doilea rînd, însă, Marx şi Engels nu se

limitau la analizarea transformărilor pe care le suferă societatea. În « Dialectica naturii » ei descoperă legile generale ale schimbării, nu numai din societatea omenească și din gîndirea omului, ci și din lumea exterioară, *reflectată de gîndirea omului*. Ceea ce înseamnă că dialectica poate fi aplicată la problemele științei « pure » ca și la relațiile sociale ale științei."

Lumea exterioară „*reflectată de gîndirea omului*": de fapt, tocmai aceasta este chestiunea. Logica răsturnării cere evident ca această reflectare să fie mult mai mult decît o transpunere mai mult sau mai puțin fidelă a lumii exterioare. Este indispensabil, pentru materialismul dialectic, ca „Ding an sich", lucrul sau fenomenul în sine, să parvină pînă la nivelul conștiinței fără vreo alterare sau sărăcire, fără să se fi operat o selecție a proprietăților lui. Trebuie ca lumea exterioară să fie literalmente prezentă în conștiință în integritatea structurilor și mișcării ei.[1]

Fără îndoială, acestei concepții i s-ar putea opune anumite texte care-i aparțin chiar lui Marx. Rămîne totuși că ea este indispensabilă coerenței logice a materialismului dialectic, lucru pe care epigonii, dacă nu înșiși Marx și Engels, l-au văzut bine. De altfel, să nu uităm că materialismul dialectic este un adaos relativ tîrziu la edificiul socio-economic deja ridicat de Marx. Un adaos menit în mod clar să facă din materialismul istoric o „știință" bazată pe legile naturii înseși.

Cerința radicală a „oglinzii perfecte" explică înverșunarea dialecticienilor materialiști în repudierea oricărei epistemologii critice, care va fi de atunci imediat calificată drept „idealistă" și „kantiană". Se poate,

[1] Să cităm și textul următor, al lui Henri Lefebvre („Le Matérialisme dialectique", PUF, Paris, 1949, p. 92): „Dialectica, departe de a fi o mișcare interioară a spiritului, este reală înaintea spiritului, în ființă. Ea se impune spiritului. Analizăm întîi mișcarea cea mai simplă și cea mai abstractă, cea a gîndirii celei mai nude. Descoperim, astfel, categoriile cele mai generale și înlănțuirea lor. Trebuie apoi să legăm această mișcare de mișcarea concretă, de *conținutul dat;* devenim atunci conștienți de faptul că mișcarea conținutului și a ființei ni se explică prin legile dialectice. Contradicțiile din gîndire vin nu numai din gîndire, din neputința sau incoerența ei definitive; ele vin și din conținut. Înlănțuirea lor tinde spre exprimarea *mișcării totale a conținutului* și îl ridică la nivelul conștiinței și al reflectării."

desigur, înțelege într-o anumită măsură această atitudine din partea unor oameni ai secolului al XIX-lea, contemporani ai primei mari explozii științifice. Pe atunci se putea prea bine să pară că omul, datorită științei, este pe cale să ia nemijlocit în stăpînire natura, însăși substanța ei. De exemplu, nimeni nu se îndoia că gravitația este o lege a naturii însăși, sesizată în intimitatea ei profundă.

necesitatea unei epistemologii critice

Cum se știe, a doua eră a științei, cea din secolul al XX-lea, a trebuit să fie pregătită printr-o revenire la izvoare, la înseși izvoarele cunoașterii. De la sfîrșitul secolului al XIX-lea necesitatea absolută a unei epistemologii critice redevine evidentă, constituind condiția însăși a obiectivității cunoașterii. De astă dată nu numai filozofii se consacră acestei critici, ci și oamenii de știință, care simt nevoia s-o încorporeze în însăși textura teoretică. Îndeplinirea acestei condiții a permis apariția teoriei relativității și a mecanicii cuantice.

Pe de altă parte, progresele neurofiziologiei și ale psihologiei experimentale încep să ne dezvăluie măcar unele din aspectele funcționării sistemului nervos. De ajuns pentru a fi evident că sistemul nervos central nu poate și, desigur, nu trebuie să furnizeze conștiinței decît o informație codificată, transpusă, încadrată în norme prestabilite: pentru a spune totul, asimilată și nu pur și simplu restituită.

Teza purei reflectări, a oglinzii perfecte care nici măcar nu ar răsturna imaginea, ni se pare, deci, azi mai inconsistentă ca oricînd. Dar, la drept vorbind, nu era nevoie să se aștepte descoperirile științei secolului al XX-lea ca să apară confuziile și nonsensurile la care era inevitabil să ducă această teză. Pentru a-l lămuri pe sărmanul Dühring care le denunța deja, Engels a propus numeroase exemple de interpretare dialectică a fenomenelor naturale. Este celebru exemplul bobului de orz, cu care se ilustrează legea a treia: „Dacă un asemenea grăunte de orz cade pe un teren prielnic, atunci sub influența căldurii și a umezelii se petrece cu el o transformare specifică: el încolțește; grăuntele ca atare dispare, este negat, locul său îl ia planta care s-a format din el, negația grăuntelui. Dar care este cursul normal al vieții acestei plante? Ea

falimentul epistemologic al materialismului dialectic

crește, înflorește, este fecundată și produce în cele din urmă alte grăunțe de orz, iar de îndată ce acestea s-au copt, firul de orz moare, este la rîndul său negat. Ca rezultat al acestei negări a negației avem din nou grăuntele inițial de orz, dar nu simplu, ci într-un număr de zece, douăzeci, treizeci de ori mai mare."

„Tot așa — adaugă Engels puțin mai departe — și în matematică. Să luăm o mărime algebrică oarecare, să zicem a. Dacă o negăm, avem $-a$ (minus a). Dacă negăm această negație, înmulțind $-a$ cu $-a$, avem $+a^2$, adică mărimea pozitivă inițială, însă pe o treaptă superioară."

Aceste exemple ilustrează mai ales amploarea dezastrului epistemologic care rezultă din utilizarea „științifică" a interpretărilor dialectice. Dialecticienii materialiști moderni evită, în general, să coboare la asemenea frivolități. Dar a face din contradicția dialectică „legea fundamentală" a oricărei mișcări, a oricărei evoluții, nu înseamnă altceva decît a încerca să sistematizezi o interpretare subiectivă a naturii care permite descoperirea în natură a unui proiect ascendent, constructiv, creator; înseamnă a o face în sfîrșit descifrabilă și purtătoare a unei semnificații morale. Avem de-a face cu „proiecția animistă", întotdeauna recognoscibilă, oricare i-ar fi deghizările.

Este o interpretare nu numai străină științei, ci incompatibilă cu ea, așa cum s-a vădit de fiecare dată cînd dialecticienii materialiști, ieșind din pura discuție „teoretică", au vrut să lumineze căile științei experimentale cu ajutorul concepțiilor lor. Chiar Engels (care cunoștea, totuși, profund știința timpului său) a fost împins să respingă, în numele dialecticii, două din cele mai mari descoperiri din vremea sa: principiul al doilea al termodinamicii și (în ciuda admirației sale pentru Darwin) interpretarea pur selectivă a evoluției. În virtutea acelorași principii, Lenin ataca, și cu cîtă violență, epistemologia lui Mach; Jdanov ordona filozofilor sovietici să combată „năzbîtiile kantiene ale școlii de la Copenhaga"; Lîsenko îi acuza pe geneticieni că susțin o teorie radical incompatibilă cu materialismul dialectic, deci, în mod necesar falsă. În pofida respingerii de către geneticienii sovietici a acestor acuzații, Lîsenko avea perfectă dreptate. Teoria genei ca

determinant ereditar invariant de-a lungul generațiilor și, chiar, hibridărilor este de fapt pe deplin ireconciliabilă cu principiile dialecticii. Ea este prin definiție o teorie idealistă, deoarece se bazează pe un postulat de invarianță. Faptul că astăzi se cunosc structura genei și mecanismul reproducerii ei invariante nu schimbă nimic, deoarece descrierea pe care le-o dă biologia modernă este pur mecanică. Este în cel mai bun caz din nou vorba de o concepție relevînd un „materialism vulgar", mecanicist, prin urmare „în mod obiectiv idealistă", cum a spus dl. Althusser în asprul său comentariu pe marginea Lecției mele inaugurale la Collège de France.

*

* *

Am trecut în revistă pe scurt și foarte incomplet aceste diverse ideologii sau teorii. Se poate crede că dau o imagine deformată a lor, întrucît este parțială. Voi încerca să mă justific, subliniind că nu am urmărit aici decît să relev ceea ce aceste concepții admit sau implică cu privire la biologie și în special relația pe care o presupun între invarianță și teleonomie. S-a văzut că toate, fără excepție, fac dintr-un principiu teleonomic inițial motorul evoluției, fie numai a biosferei, fie a întregului univers. În ochii teoriei științifice moderne toate aceste concepții sînt eronate, și aceasta nu numai din motive de metodă (deoarece ele implică într-un fel sau altul renunțarea la postulatul existenței obiective), ci și din motive concrete care vor fi discutate mai ales în capitolul 6.

La originea acestor erori stă, bineînțeles, iluzia antropocentrismului. Teoria heliocentrică, noțiunea de inerție, principiul existenței obiective nu puteau fi suficiente pentru a risipi acest străvechi miraj. Teoria evoluției, inițial departe de a risipi această iluzie, părea să-i confere o nouă realitate făcînd din om nu centrul, ci moștenitorul, așteptat dintotdeauna, natural, al întregului univers. În sfîrșit Dumnezeu putea să moară, înlocuit de acest nou și grandios miraj. De acum înainte ultimul obiectiv al științei urma să fie formularea unei teorii unificate, care, bazată pe un număr mic de principii, va explica întreaga realitate, inclusiv biosfera și omul. Din această certitudine exal-

iluzia antropocentristă

tantă se nutrea progresismul scientist al secolului al XIX-lea. O teorie unificată pe care dialecticienii materialişti credeau, de fapt, că au formulat-o.

Engels ajunge să nege formal principiul al doilea al termodinamicii tocmai fiindcă i se părea că el atentează la certitudinea că omul şi gîndirea omenească sînt produsele necesare ale unei evoluţii cosmice ascendente. Este semnificativ că el face acest lucru încă în introducerea la „Dialectica naturii" şi că asociază direct această temă unei predici cosmologice pasionate prin care promite dacă nu speciei umane, în orice caz „creierului care gîndeşte", o veşnică revenire. O revenire, de fapt, la unul din cele mai vechi mituri ale omenirii [1].

biosfera: eveniment singular nedeductibil din principiile primare

A trebuit să se aştepte a doua jumătate a secolului al XX-lea pentru ca noul miraj antropocentric, bazat pe teoria evoluţiei, să se spulbere şi el. Putem, cred, să afirmăm astăzi că o teorei universală, oricît de depline ar fi, de altfel, succesele ei, nu ar putea niciodată să cuprindă biosfera, structura ei, evoluţia ei ca fenomene *deductibile* din principiile primare.

Fraza de mai sus poate să pară obscură. Să încercăm s-o clarificăm. O teorie universală ar trebui, evident, să îmbrăţişeze simultan relativitatea, teoria cuan-

---

[1] „Ajungem astfel la concluzia că, pe o cale pe care cercetarea naturii va avea mai tîrziu sarcina s-o stabilească, căldura radiată în spaţiul cosmic trebuie să aibă posibilitatea de a se transforma într-o altă formă de mişcare, în care ea să se poată din nou concentra şi intra în acţiune. Astfel dispare principala dificultate care stătea în calea admiterii retransformării sorilor morţi în nebuloasă incandescentă..." „Dar, oricît de frecvent şi oricît de implacabil s-ar desfăşura în timp şi în spaţiu acest circuit, oricîte milioane de sori şi de pămînturi s-ar naşte şi ar pieri, oricît ar dura pînă ce într-un sistem solar s-ar ivi măcar pe o singură planetă condiţiile vieţii organice, oricîte fiinţe organice ar trebui să apară şi să piară înainte ca în mijlocul lor să se dezvolte animale cu un creier capabil de gîndire care să găsească pentru un răstimp scurt condiţii favorabile vieţii lor pentru a fi apoi şi ele nimicite fără milă, avem certitudinea că materia rămîne veşnic aceeaşi în toate transformările ei, că nici unul dintre atributele ei nu poate să se piardă vreodată şi că, prin urmare, cu aceeaşi necesitate implacabilă cu care ea va nimici pe Pămînt produsul ei cel mai înalt — spiritul care gîndeşte — ea va trebui să-l producă din nou în alt loc şi în alt timp". F. Engels, *Dialectica naturii*, în K. Marx—F. Engels, *Opere*, vol. 20, Editura Politică, Bucureşti, 1964, p. 345—346.

telor, o teorie a particulelor elementare. Cu condiția posibilității de a formula anumite condiții inițiale, ea ar conține și o cosmologie care ar prevedea evoluția generală a Universului. Știm, însă,— contrar celor crezute de Laplace și, după el, de știința și filozofia „materialistă" a secolului al XIX-lea — că aceste previziuni nu vor putea fi decît statistice. Teoria ar conține, fără îndoială, clasificarea periodică a elementelor, dar nu ar putea stabili decît probabilitatea existenței fiecăruia din ele. La fel, ea ar prevedea apariția unor obiecte ca galaxii sau sisteme planetare, dar nu ar putea în nici un caz să deducă din principiile ei existența necesară a cutărui obiect, a cutărui eveniment, a cutărui fenomen particular, fie acestea nebuloasa din Andromeda, planeta Venus, muntele Everest sau furtuna de aseară. Într-o manieră generală, teoria ar prevedea existența, proprietățile, relațiile anumitor *clase* de obiecte sau evenimente, dar, evident, nu ar putea să prevadă nici existența și nici trăsăturile distinctive ale niciunui obiect și niciunui fenomen *particular*.

Teza pe care o voi prezenta aici este că biologia nu conține o clasă previzibilă de obiecte sau de fenomene, ci constituie un eveniment particular, compatibil, desigur, cu principiile prime, dar nu *deductibil* din aceste principii. Deci, esențialmente imprevizibil.

Să fiu bine înțeles. Spunînd că ființele vii, ca clasă, nu sînt previzibile pe baza principiilor prime, nu vreau cîtuși de puțin să sugerez că ele nu sînt *explicabile* conform acestor principii, că le transcend în vreun fel și că ar trebui invocate alte principii, aplicabile numai lor. După părerea mea, biosfera este tot atît de imprevizibilă, nici mai mult, nici mai puțin, ca și configurația particulară de atomi care alcătuiesc piatra pe care o țin în mînă. Nimeni nu ar reproșa unei teorii universale că nu afirmă și nu prevede existența acestei

configurații particulare de atomi; ne este suficient ca acest obiect actual, unic și real, să fie *compatibil* cu teoria. Obiectul acesta nu are, conform teoriei, obligația de a exista, dar are dreptul s-o facă.

Aceasta ne ajunge cînd este vorba de o piatră, dar nu și dacă este vorba de noi. Noi ne vrem necesari, inevitabili, dintotdeauna în ordinea lucrurilor. Toate religiile, aproape toate filozofiile, chiar o parte a științei, sînt dovezile efortului neobosit, eroic al omenirii, care își neagă cu desperare propria contingență.

3
DEMONII LUI MAXWELL

Noțiunea de teleonomie implică ideea unei activități *orientate, coerente* și *constructive*. În virtutea acestor criterii proteinele trebuie să fie considerate agenții moleculari esențiali ai performanțelor teleonomice ale ființelor vii:

proteinele — agenți moleculari ai teleonomiei structurale și funcționale

1. Ființele vii sînt mașini chimice. Creșterea și înmulțirea tuturor organismelor necesită producerea a mii de reacții chimice prin care se elaborează constituenții esențiali ai celulelor. Acest proces se numește metabolism. Acesta este organizat într-un mare număr de „căi" divergente sau ciclice, fiecare cuprinzînd o succesiune de reacții. Orientarea precisă și randamentul ridicat al acestei enorme și microscopice activități chimice sînt asigurate de o anumită clasă de proteine, enzimele, care joacă rolul de catalizatori specifici.

2. Ca o mașină, orice organism, inclusiv cel mai „simplu", constituie o unitate funcțională coerentă și integrată. Absolut evident, coerența funcțională a unei mașini chimice atît de complexe — și, în plus, autonomă — necesită intervenția unui sistem cibernetic care să guverneze și să controleze activitatea chimică în numeroase puncte. Sîntem încă departe, mai ales în cazul organismelor superioare, de a fi elucidat pe deplin structura acestor sisteme. Astăzi se cunosc, totuși, foarte multe elemente ale ei și în toate cazurile se dovedește că agenții esențiali sînt proteine numite „regulatoare" care, în ansamblu, joacă rolul de detectori de semnale chimice.

3. Organismul este o maşină care se construieşte singură. Structura lui macroscopică nu îi este impusă de intervenţia unor forţe exterioare. Ea se constituie în mod autonom datorită unor interacţiuni constructive interne. Deşi cunoştinţele noastre despre mecanismul dezvoltării sînt încă mai mult decît insuficiente, se poate, totuşi, afirma de pe acum că interacţiunile constructive sînt microscopice, moleculare şi că moleculele în cauză sînt esenţialmente, dacă nu exclusiv, proteine.

Prin urmare, nişte proteine canalizează activitatea maşinii chimice, asigură coerenţa funcţionării ei şi o construiesc. Toate aceste performanţe teleonomice ale proteinelor se bazează în ultimă analiză pe proprietăţile lor aşa-numite „stereospecifice", cu alte cuvinte pe capacitatea lor de a „recunoaşte" alte molecule (inclusiv ale altor proteine) după *forma* lor, care este determinată de structura lor moleculară. Este vorba, literalmente, de o capacitate de identificare (dacă nu „cognitivă") la nivel microscopic. Se poate admite că orice performanţă sau structură teleonomică a unei fiinţe vii, oricare ar fi ea, este, în principiu, analizabilă în termenii interacţiilor stereospecifice ale unei, cîtorva sau foarte multor proteine. [1]

Tocmai de structura, de forma unei proteine date, depinde identificarea stereospecifică particulară care constituie funcţia ei. Dacă s-ar reuşi să se descrie apariţia şi evoluţia acestei structuri s-ar putea explica şi apariţia şi evoluţia performanţei teleonomice căreia îi este menită.

În capitolul de faţă vom discuta funcţia catalitică specifică a proteinelor, în următorul — funcţia reglatoare, iar în capitolul 5 — funcţia constructoare. Problema originii structurilor funcţionale va fi abordată în acest capitol şi va fi reluată în următorul.

---

[1] Am recurs deliberat la o simplificare. Anumite structuri ale ADN joacă un rol care trebuie considerat teleonomic. De altfel, anumiţi ARN (acizi ribonucleici) constituie piese esenţiale ale maşinăriei care asigură translaţia codului genetic (cf. Anexe p. 162). Totuşi sînt şi proteine implicate în aceste mecanisme, care, în aproape toate stadiile, antrenează interacţii între proteine şi acizi nucleici. Omiterea oricărei discutări a acestor mecanisme nu afectează analiza interacţiilor teleonomice moleculare şi interpretarea lor generală

Proprietățile funcționale ale unei proteine pot fi, într-adevăr, studiate fără a fi nevoie să te raportezi în amănunt la structura ei particulară. (De fapt, în prezent nu se cunoște în toate amănuntele decît structura spațială a vreo cincisprezece proteine). Totuși este necesar să amintim unele date generale.

Proteinele sînt molecule foarte mari, cu o masă moleculară variind de la 10 000 la 1 000 000 sau mai mult. Aceste macromolecule se constituie prin polimerizarea secvențială a unor compuși cu masă moleculară în jur de 100 care aparțin clasei „aminoacizilor". Orice proteină conține deci între 100 și 10 000 de resturi de aminoacizi. Și deși numărul e foarte mare, există doar 20 de specii diferite de aminoacizi [1], care se întîlnesc la toate ființele vii, de la bacterii și pînă la om. Această monotonie de compoziție constituie una din cele mai izbitoare ilustrări ale faptului că prodigioasa diversitate a structurilor *macroscopice* ale ființelor vii se bazează de fapt pe o profundă și nu mai puțin remarcabilă unitate de compoziție și de structură *microscopică*. Vom mai reveni la acest aspect.

După forma lor generală, se pot distinge două clase de proteine.

a) Proteinele numite „fibrilare" sînt molecule foarte alungite care joacă la ființele vii un rol, în principal, mecanic, de genul greementului unei nave cu pînze. Deși proprietățile unora din aceste proteine (cele din mușchi) sînt foarte interesante, nu ne vom ocupa aici de ele.

b) Proteinele numite „globulare" sînt mult mai numeroase și, prin funcțiile lor, sînt cele mai importante. La aceste proteine catenele (lanțurile) constituite prin polimerizarea secvențială a aminoacizilor sînt pliate asupra lor însăși, într-un mod foarte complex, conferind acestor molecule o structură compactă, pseudoglobulară [2]:

Ființele vii, chiar și cele mai simple, conțin un foarte mare număr de proteine diferite. Acest număr poate fi estimat la 2500 ± 500 în cazul bacteriei *Escherichia coli* (aproximativ $5 \cdot 10^{-13}$ g greutate și 2 microni

---

[1] Vezi *Anexe*, p. 156.
[2] Vezi *Anexe*, p. 158.

lungime). Pentru animalele superioare, ca **omul**, se poate avansa cifra de un milion, ca ordin de mărime.

*

* *

Fiecare dintre miile de reacții chimice care contribuie la dezvoltarea și la performanțele unui organism este provocată selectiv de o anumită proteină enzimatică. Simplificînd doar foarte puțin, se poate admite că fiecare enzimă din organism își exercită activitatea catalitică numai într-o singură verigă a metabolismului. Enzimele se deosebesc de catalizatorii nebiologici folosiți în laboratoare sau în industrie, în primul rînd tocmai prin extraordinara lor *selectivitate* în acțiune. Printre catalizatorii nebiologici există și unii foarte activi, cu alte cuvinte capabili chiar în cantitate mică să accelereze considerabil diverse reacții. Niciunul dintre ei, însă, nici nu se apropie măcar de enzima cea mai „vulgară" ca specificitate de acțiune.

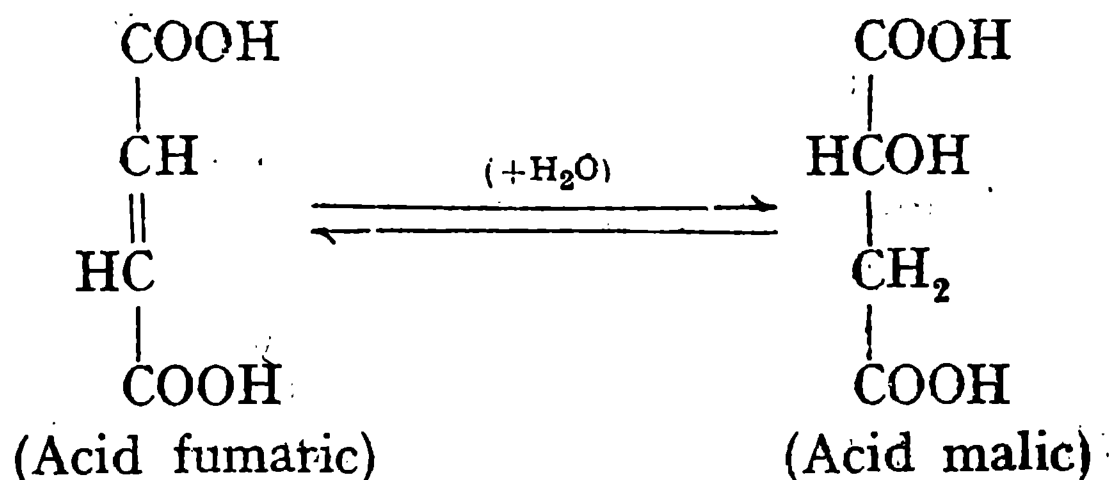
proteinele enzimatice — catalizatori specifici

Această specificitate este dublă:

1. Fiecare enzimă catalizează numai un singur tip de reacție.

2. Printre substanțele, uneori foarte numeroase în organism, susceptibile să sufere acest tip de reacție, enzima, de regulă, nu este activă decît față de una singură. Cîteva exemple vor permite înțelegerea acestor propoziții.

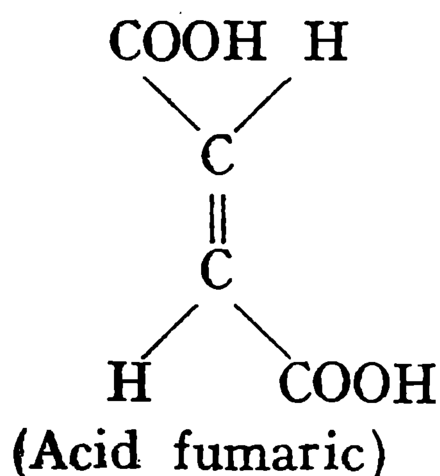
Există o enzimă (numită fumarază) care catalizează hidratarea (adiția de apă) acidului fumaric și transformarea lui în acid malic:



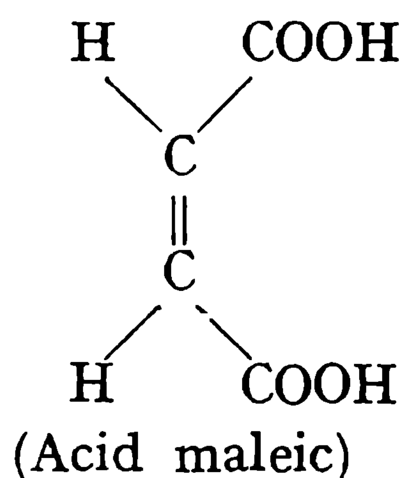
(Acid fumaric) (Acid malic)

Această reacție este reversibilă și aceeași enzimă catalizează și deshidratarea acidului malic și transformarea lui în acid fumaric.

Există, însă, un izomer geometric al acidului fumaric, acidul maleic:



(Acid fumaric)

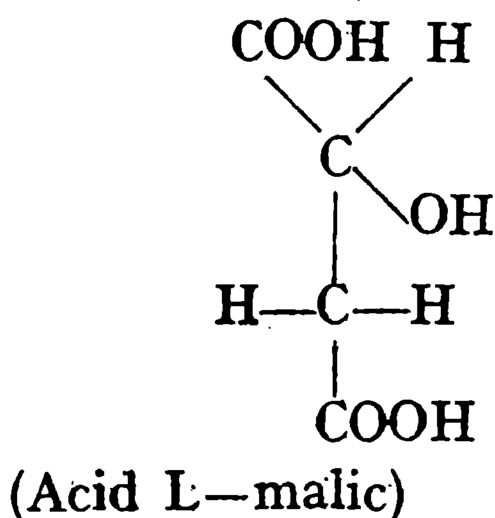


(Acid maleic)

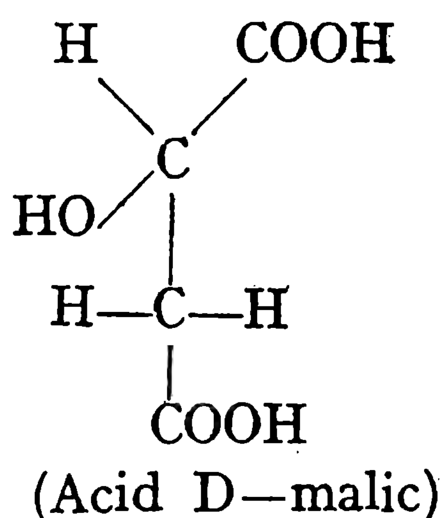
capabil din punct de vedere chimic să sufere aceeași hidratare. Enzima este total inactivă față de al doilea.

Dar în plus există doi izomeri *optici* ai acidului malic, care posedă un carbon asimetric [1]:

Aceste două substanțe, fiecare fiind imaginea în oglindă a celeilalte, sînt echivalente din punct de vedere chimic și sînt practic inseparabile prin tehnicile chimice clasice.



(Acid L—malic)



(Acid D—malic)

Enzima face, însă, o deosebire absolută între cele două substanțe. Într-adevăr:

1. Enzima deshidratează exclusiv acidul L—malic, pentru a produce exclusiv acid fumaric.

2. Pornind de la acid fumaric, enzima produce exclusiv acid L—malic și nu acid D—malic.

Discriminarea riguroasă practicată de enzimă între izomerii optici este nu numai o ilustrare izbitoare a

[1] Substanțele care conțin un atom de carbon legat de patru substituenți diferiți sînt, în virtutea acestui fapt, lipsite de simetrie. Se spune că ele sînt „optic active", deoarece la traversarea acestor substanțe lumina polarizată își rotește planul de polarizare spre stînga (substanțe levogire: L) sau spre dreapta (substanțe dextrogire: D).

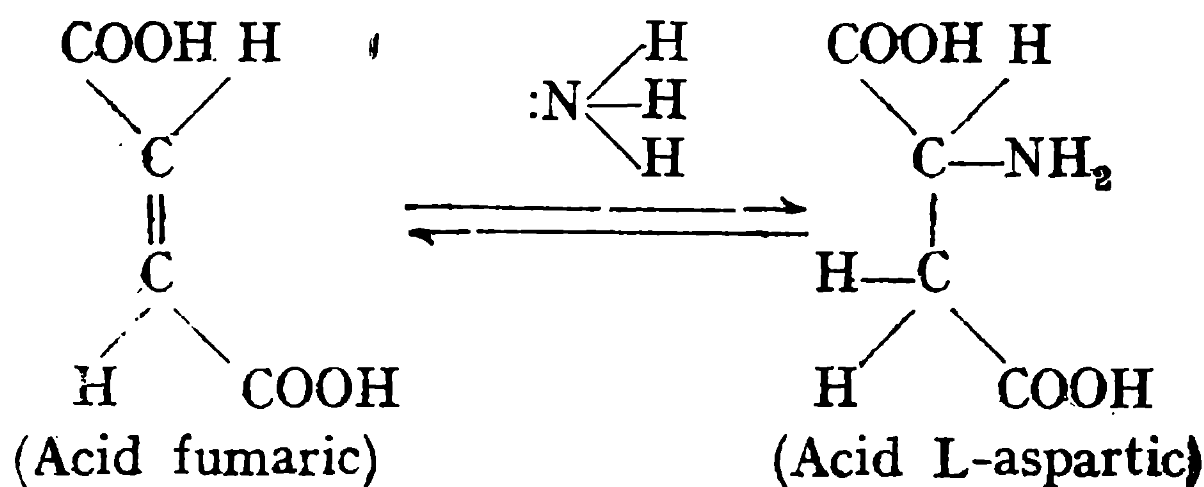
stereospecificității enzimelor. În primul rînd, în ea rezidă explicația faptului, multă vreme rămas misterios, că, dintre numeroșii constituenți chimici celulari care sînt asimetrici (de fapt este cazul majorității), prezent în biosferă, este, de regulă, doar unul din cei doi izomeri optici. În al doilea rînd, însă, conform principiului foarte general al lui Curie despre conservarea simetriei, faptul că, pornind de la o substanță cu simetrie geometrică (acidul fumaric), se obține o substanță asimetrică se impune ca:

1. enzima însăși să constituie „sursa" asimetriei; deci, ca ea însăși să fie optic activă, cum și este cazul;

2. simetria inițială a substratului să se piardă în cursul interacției lui cu proteina enzimatică. Trebuie, deci, ca reacția de hidratare să aibă loc înăuntrul unui „complex" format printr-o legătură temporară între enzimă și substrat; într-un astfel de complex, simetria inițială a acidului fumaric ar fi efectiv pierdută.

Noțiunea de *„complex stereospecific"*, ca explicație a specificității enzimelor și a activității lor catalitice, are o importanță centrală. Vom reveni la acest lucru după ce vom fi discutat alte cîteva exemple.

Există (la anumite bacterii) o altă enzimă, numită aspartază, care și ea acționează numai asupra acidului fumaric, excluzînd orice altă substanță, inclusiv izomerul lui geometric, acidul maleic. Reacția de „adiție la dubla legătură" catalizată de această enzimă este strîns analogă celei precedente. De astă dată, este condensată cu acidul fumaric, pentru a da un aminoacid, acidul aspartic nu o moleculă de apă, ci una de amoniac.



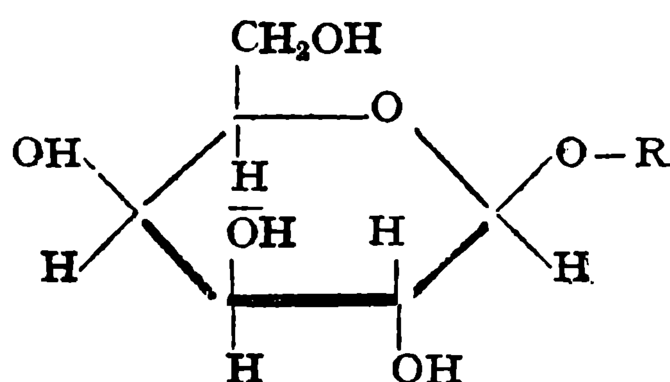
(Acid fumaric) (Acid L-aspartic)

Acidul aspartic posedă un carbon asimetric; el este, deci, optic activ. Ca și în cazul precedent, reacția

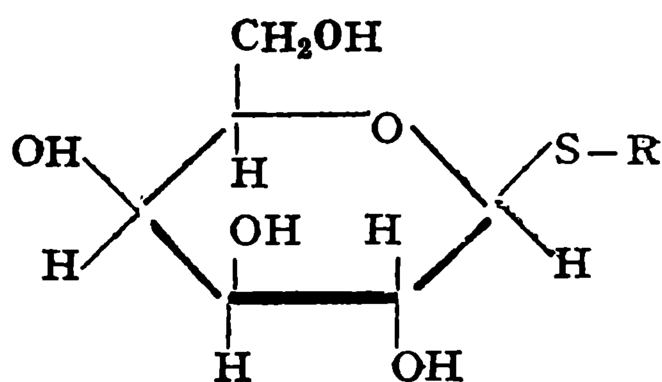
enzimatică produce exclusiv unul din izomeri, cel din seria L, numit izomer „natural", deoarece aminoacizii care intră în compoziția proteinelor aparțin toți seriei L.

Cele două enzime, aspartaza și fumaraza, fac deci o deosebire strictă nu numai între izomerii optici și cei geometrici ai substraturilor și produșilor lor, ci și între moleculele de apă și de amoniac. Sîntem determinați să admitem că aceste din urmă molecule intră, și ele, în compunerea complexului stereospecific înăuntrul căruia se produce reacția de adiție și că, în acest complex, moleculele sînt riguros așezate unele în raport cu altele. Tocmai din această așezare rezultă atît specificitatea de acțiune, cît și stereospecificitatea reacției.

Din exemplele precedente, existența unui complex stéreospecific ca intermediar al reacției enzimatice, nu putea fi dedusă decît cu titlul de ipoteză explicativă. În unele cazuri favorabile este posibil să se demonstreze direct existența acestui complex. Așa este cazul enzimei numite β—galactozidaza care catalizează specific hidroliza substanțelor care au o structură dată de formula A de mai jos:



(A)



(B)

(În aceste formule R reprezintă un radical oarecare).

Amintim că există numeroşi izomeri ai unor astfel de substanţe (16 izomeri specifici, care diferă prin orientarea unul faţă de altul a grupărilor OH şi H legate de atomii de carbon din poziţiile 1—5, plus antipozii optici ai fiecăruia din aceşti izomeri).

De fapt, enzima face deosebire strictă între aceşti izomeri şi nu-l hidrolizează decît pe unul dintre ei. Enzima poate fi totuşi „păcălită" sintetizîndu-se „analogi sterici" ai compuşilor din această serie, în care oxigenul din legătura hidrolizabilă este înlocuit cu sulf (formula B de mai sus). Atomul de sulf, mai mare decît cel de oxigen, are acelaşi număr de valenţe, iar orientarea valenţelor este aceeaşi la cei doi atomi. *Forma* tridimensională a acestor derivaţi cu sulf este, deci, practic aceeaşi cu cea a omologilor lor cu oxigen. Aceste substanţe nu sînt, deci, hidrolizate de enzimă. Totuşi, se poate arăta *direct* că ele formează cu proteina un complex stereospecific.

Astfel de observaţii, pe lîngă faptul că dau o confirmare teoriei complexului, arată, totodată, că o reacţie enzimatică trebuie să fie considerată ca avînd două etape distincte:

1. Formarea unui complex stereospecific între proteină şi substrat.

2. Activarea catalitică a unei reacţii înăuntrul complexului, reacţie a cărei *orientare* şi a cărei *specificitate* sînt date de structura complexului însuşi.

legături covalente şi legături necovalente

Această distincţie este de o importanţă capitală şi ne va permite să desprindem una din noţiunile cele mai importante ale biologiei moleculare. Înainte de aceasta, însă, trebuie să amintim că, între diferitele tipuri de legături care pot contribui la stabilitatea unei construcţii chimice, este cazul să deosebim două clase:

a) legăturile numite covalente;

b) legăturile necovalente.

Legăturile covalente (cărora li se rezervă adesea denumirea de „legătură chimică" *stricto sensu*) se datorează punerii în comun a orbitalilor electronici a doi sau mai mulţi atomi. Legăturile necovalente se datorează altor cîtorva tipuri de interacţii (care nu implică unirea orbitalilor electronici).

Pentru ceea ce ne interesează aici nu este necesar să specificăm natura forțelor fizice care intervin în aceste tipuri diferite de interacții. Mai întîi, să subliniem că cele două clase de legături diferă între ele prin energia legăturilor pe care le asigură. Simplificînd puțin și precizînd că nu avem în vedere aici decît reacții care se produc în fază apoasă, se poate într-adevăr admite că energia absorbită sau eliberată, în medie, de o reacție implicînd legături covalente este de ordinul a 5—20 kcal (per legătură). Pentru o reacție implicînd numai legături necovalente, energia medie va fi de 1—2 kcal [1].

Această diferență importantă explică, în parte, diferența de stabilitate dintre legăturile „covalente" și cele „necovalente". Dar nu aci rezidă esențialul, ci în diferența dintre energiile numite „de activare" puse în joc în cele două tipuri de reacții. Această noțiune este extrem de importantă. Pentru a o preciza să amintim că o reacție care face o populație moleculară să treacă de la o stare stabilă dată la o alta trebuie să fie considerată ca incluzînd o stare intermediară, cu o energie potențială *superioară* energiei celor două stări stabile. Acest proces este deseori reprezentat printr-un grafic a cărui abscisă consemnează mersul reacției, iar ordonata — energia potențială (fig. 1). Diferența de energie potențială între stările stabile corespunde energiei pe care o poate elibera reacția. Diferența dintre starea inițială și starea intermediară (numită „activată") este energia de activare. Este energia pe care moleculele trebuie s-o dobîndească *trecător* pentru a intra în reacție. Această energie, dobîndită într-o primă etapă și eliberată într-a doua, nu figurează în bilanțul termodinamic final. Totuși de ea depinde *viteza* reacției, care la temperatură obișnuită va fi practic nulă dacă energia de activare este înaltă. Pentru a o provoca va trebui, deci, fie să se ridice consi-

[1] Să amintim că energia unei legături este, prin definiție, cea necesară *pentru ruperea ei*. De fapt, însă, majoritatea reacțiilor chimice, în special cele biochimice, constau mai degrabă în *schimbul* de legături, decît în simpla lor rupere. Energia pusă în joc într-o reacție este cea care corespunde unui *schimb* de tipul:



$$AY + BX \rightarrow AX + BY.$$

Ea este deci întotdeauna inferioară energiei de rupere.

derabil temperatura (de care depinde fracția moleculelor care au dobîndit energie suficientă), fie să se folosească un catalizator, al cărui rol este să „stabilizeze" starea activată, deci să reducă diferența de potențial între această stare și starea inițială.

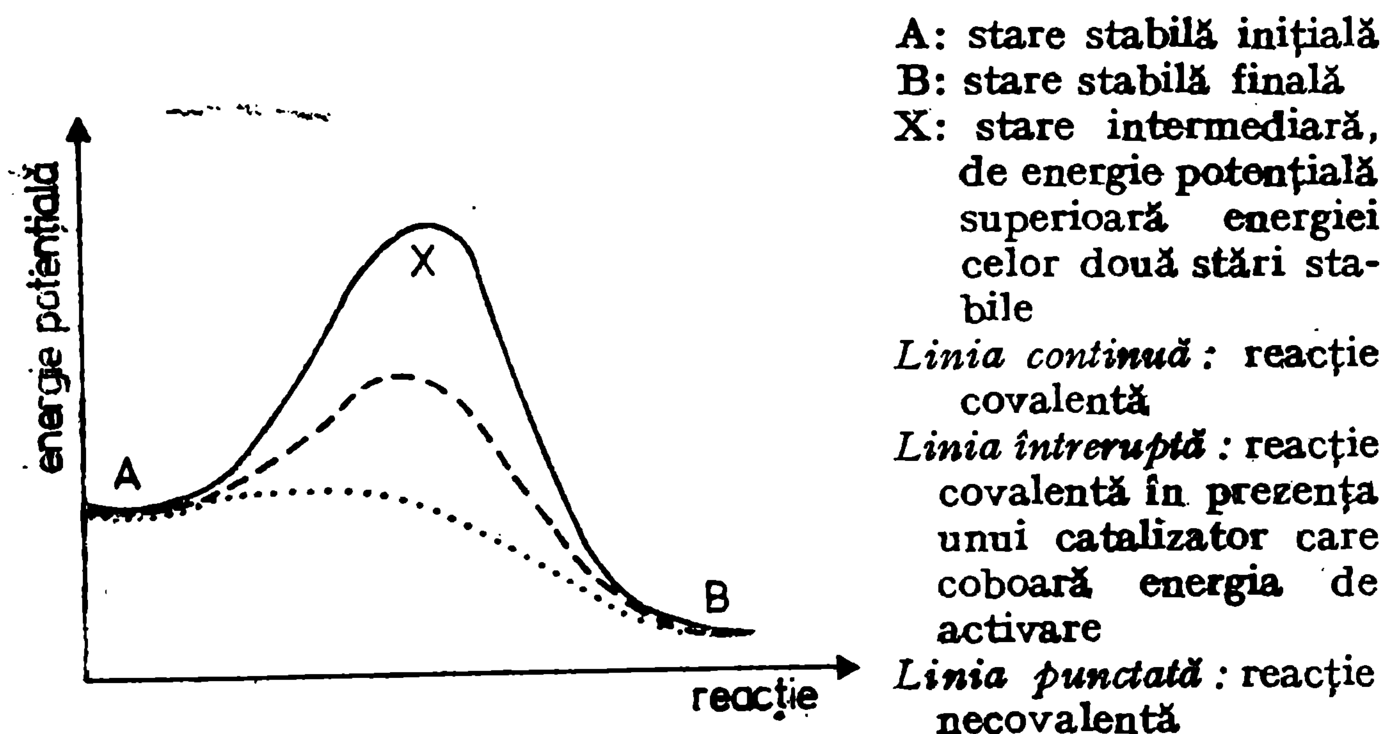


Fig. 1. Diagramă a variației energiei potențiale a moleculelor în cursul unei reacții.

Or, și tocmai acesta este aspectul important, în general:

a) energia de activare a reacțiilor covalente este ridicată; viteza lor este, deci, foarte mică sau nulă la temperatură mică și în absența unor catalizatori;

b) energia de activare a reacțiilor necovalente este foarte mică, dacă nu nulă; aceste reacții se produc, deci, spontan și *foarte repede* la *temperatură mică* și în *absența unor catalizatori.*

Rezultă că structurile definite prin interacții necovalente nu pot atinge o anumită stabilitate decît dacă pun în joc interacții *multiple.* De altfel, interacțiile necovalente nu dobîndesc o energie importantă decît atunci cînd atomii sînt la distanțe foarte mici unii de alții, practic „în contact". În consecință, două molecule (sau regiuni de molecule) nu vor putea contracta o legătură necovalentă decît dacă suprafețele celor două molecule cuprind suprafețe *complementare* care permit cîtorva atomi ai uneia să intre în contact cu cîțiva atomi ai celeilalte.

Dacă adăugăm acum că complecșii formați din enzimă și substrat sînt de natură necovalentă, se va vedea de ce aceste complexe sînt *în mod necesar* stereospecifice: ele nu se pot forma decît dacă molecula de enzimă prezintă o suprafață exact „complementară" formei moleculei de substrat. Se va vedea, de asemenea, că, în complex, molecula de substrat are în mod necesar o poziție foarte strictă datorită multiplelor interacții care o leagă de suprafața receptoare a moleculei de enzimă.

noțiunea de complex stereospecific necovalent

Se va vedea, în sfîrșit, că în funcție de *numărul* de interacții necovalente pe care le pune în joc, stabilitatea unui complex necovalent poate să varieze în limite foarte largi. Aceasta este o proprietate prețioasă a complecșilor necovalenți: stabilitatea lor poate fi adaptată exact la funcția îndeplinită. Complecșii enzimă-substrat trebuie să se poată constitui și desface foarte repede; este condiția unei activități catalitice intense. Acești complecși sînt, într-adevăr, disociabili ușor și foarte repede. Alți complecși, a căror funcție este permanentă, dobîndesc o stabilitate de același ordin cu aceea a unei legături covalente.

Am discutat, pînă în prezent, numai prima etapă a unei reacții enzimatice: formarea complexului stereospecific. Asupra etapei catalitice însăși, care urmează formării complexului, nu ne vom opri îndelung, deoarece ea nu pune probleme atît de profund semnificative din punct de vedere biologic, ca precedenta. Se admite astăzi că procesul de cataliză enzimatică rezultă din acțiunea inductoare și polarizantă a anumitor grupări chimice prezente în „receptorul specific" al proteinei. Lăsînd la o parte specificitatea (care se datorește poziției foarte precise a moleculei de substrat în raport cu grupările inductoare), efectul catalitic se explică prin scheme asemănătoare celor care pun în lumină acțiunea catalizatorilor nebiologici (cum sînt în special ionii H^+ și OH^-).

Formarea complexului stereospecific, premergătoare actului catalitic însuși, poate fi, deci, considerată ca îndeplinind simultan două funcții:

1. *alegerea* exclusiv a unui substrat, determinată de structura lui sterică;

2. *prezentarea* substratului într-o orientare precisă care stabileşte limitele şi specificitatea efectului catalitic al grupărilor inductoare.

Noţiunea de complex stereospecific necovalent nu se aplică nici numai enzimelor, nici numai, cum se va vèdea, proteinelor. Ea este de importanţă centrală pentru interpretarea tuturor fenomenelor de alegere, de deosebire selectivă, care caracterizează fiinţele vii şi le dau aparenţa că ar scăpa de soarta pe care o prevede principiul al doilea. În această privinţă este interesant să reluăm exemplul fumarazei.

Dacă se efectuează aminarea acidului fumaric prin mijloacele chimiei organice se obţine un amestec de doi izomeri optici ai acidului aspartic. În schimb, enzima catalizează exclusiv formarea acidului L—aspartic. Ca urmare, el aduce o informaţie care corespunde exact unei alegeri binare (deoarece sînt doi izomeri). Se vede aici, la nivelul cel mai elementar, cum se poate forma şi difuza informaţia structurală la fiinţele vii. Enzima posedă, bineînţeles, în structura receptorului ei stereospecific, informaţia corespunzătoare acestei alegeri. Dar energia necesară *amplificării* acestei informaţii nu vine de la enzimă: pentru a orienta reacţia exclusiv pe una din cele două căi posibile, enzima foloseşte potenţialul chimic pe care-l constituie soluţia de acid fumaric. Întreaga activitate de sinteză a celulelor, cu toată complexitatea ei, este, în ultimă analiză, interpretabilă în aceiaşi termeni.

*

* *

demonul lui Maxwell

Aceste fenomene, prodigioase prin complexitatea lor şi prin eficacitatea lor în înfăptuirea unui program dinainte stabilit, impun evident ipoteza că sînt ghidate prin exercitarea unor funcţii, într-un fel, „cognitive". Tocmai o astfel de funcţie îi atribuia Maxwell demonului său microscopic. După cum se ştie, se presupunea că acest demon, postat la orificiul de comunicare între două recipiente umplute cu un gaz oarecare, manevra, fără consum de energie, o trapă ideală care îi permitea să oprească trecerea anumitor molecule dintre un recipient în celălalt. Demonul putea, deci, să „aleagă" permiterea trecerii într-un sens numai a moleculelor rapide (cu energie înaltă) şi în celălalt

sens numai a moleculelor lente (cu energie joasă). Rezultatul era că dintre cele două recipiente, care aveau inițial aceeași temperatură, unul se încălzea, pe cînd celălalt se răcea, totul fără un consum aparent de energie. Așa imaginară, cum era, această experiență i-a pus în încurcătură pe fizicieni: se părea, într-adevăr, că, *prin exercitarea funcției sale cognitive*, demonul ar avea posibilitatea să încalce principiul al doilea. Și, cum această funcție cognitivă nu părea nici măsurabilă, nici definibilă din punct de vedere fizic, „paradoxul" lui Maxwell părea să se sustragă oricărei analize în termeni operaționali.

Cheia paradoxului a fost dată de Léon Brillouin, care s-a inspirat dintr-o lucrare anterioară a lui Szilard: el a arătat că exercitarea funcțiilor cognitive de către demon trebuia *în mod necesar* să consume o anumită cantitate de energie, care, în bilanțul operației, compensa tocmai scăderea entropiei sistemului. Într-adevăr, pentru ca demonul să închidă trapa „în cunoștință de cauză" trebuie ca, în prealabil, el să fi *măsurat* viteza fiecărei particule de gaz. Dar orice măsurare, cu alte cuvinte orice *achiziție de informație* presupune o interacțiune prin ea însăși consumatoare de energie.

Această celebră teoremă este una din sursele concepțiilor moderne cu privire la echivalența între informație și entropia negativă. Aici teorema ne interesează prin aceea că enzimele exercită, la scară microscopică, tocmai o funcție creatoare de ordine. Această creare de ordine, însă, așa cum am văzut, nu se produce gratuit, ea are loc cu o cheltuială, cu un consum de potențial chimic. Enzimele, în definitiv, funcționează exact în maniera demonului lui Maxwell corectat de Szilard și Brillouin, drenînd potențialul chimic pe făgașurile alese de programul ale cărui executante sînt.

Să reținem ideea principală dezvoltată în acest capitol: proteinele își exercită funcțiile lor „demonice" datorită capacității lor de a forma, împreună cu alte molecule, complecși *stereospecifici* și necovalenți. Capitolele următoare vor ilustra importanța centrală a acestei noțiuni-cheie, care va fi regăsită ca interpretare ultimă a proprietăților celor mai caracteristice ale ființelor vii.

4
CIBERNETICĂ MICROSCOPICĂ

Prin însăşi stricta ei specificitate, o enzimă „clasică" (cum sînt cele luate ca exemplu în capitolul anterior) constituie o unitate funcţională total independentă. Funcţia „cognitivă" a acestor „demoni" se limitează la recunoaşterea substratului lor specific, cu excluderea oricărei alte substanţe, ca şi a oricărui eveniment care s-ar putea produce în maşinăria chimică a celulei.

Este suficient să examinăm o schemă care rezumă cunoştinţele actuale despre metabolismul celular ca să înţelegem că, chiar dacă în fiecare etapă enzima care are o sarcină şi-o îndeplineşte perfect, suma totală a acestor activităţi n-ar putea să ducă decît la haos dacă ele n-ar fi, în vreun fel, subordonate unele altora pentru a forma un sistem coerent. De altfel, există dovezile cele mai clare ale eficacităţii extreme a maşinăriei chimice a fiinţelor vii, de la cele mai „simple" la cele mai „complexe".

coerenţa funcţională a maşinăriei celulare

La animale se cunoaşte, desigur, de multă vreme, existenţa unor sisteme care asigură coordonarea pe scară mare a performanţelor organismului. Aşa sînt funcţiile sistemului nervos şi cele ale sistemului endocrin. Aceste sisteme asigură coordonarea între organe sau ţesuturi, cu alte cuvinte, la urma urmelor, *între celule*. Că înăuntrul fiecărei celule o reţea cibernetică aproape tot atît de complexă (dacă nu chiar mai complexă) asigură coerenţa funcţională a maşinăriei chimice intracelulare, acest lucru l-au dezvăluit cercetări

care datează, în majoritatea lor, din ultimii douăzeci, dacă nu chiar din ultimii cinci sau zece ani.

Sîntem încă foarte departe de a fi analizat, în întregul lui, sistemul care guvernează metabolismul, creşterea şi diviziunea celor mai simple celule pe care le cunoaştem, a bacteriilor. Datorită, însă, analizei amănunţite a anumitor părţi ale acestui sistem, principiile funcţionării lui sînt astăzi destul de bine înţelese. În capitolul de faţă ne vom ocupa tocmai de aceste principii. Vom vedea că operaţiile cibernetice elementare sînt asigurate de proteine specializate, care joacă rolul de detectori şi integratori de informaţie chimică.

proteine reglatoare şi logica reglărilor

Dintre aceste proteine reglatoare, cel mai bine cunoscute, în prezent, sînt enzimele numite „alosterice". Aceste enzime constituie o clasă aparte, în virtutea proprietăţilor care le deosebesc de enzimele „clasice". Ca şi acestea din urmă, enzimele alosterice recunosc, cuplîndu-se cu el, un substrat specific şi activează conversia lui în produşi. Printre altele, însă, aceste enzime au proprietatea de a recunoaşte selectiv unul sau cîţiva *alţi* compuşi a căror cuplare (stereospecifică) cu proteina are ca efect modificarea, cu alte cuvinte, după caz, *creşterea* sau *inhibarea activităţii ei asupra substratului.*

Funcţia reglatoare, coordonatoare pe care o au interacţiile de acest tip (numite interacţii alosterice) este azi dovedită de nenumărate exemple. Aceste interacţii pot fi clasificate într-un anumit număr de „moduri de reglare", după relaţiile existente între reacţia avută în vedere şi originea metabolică a „efectorilor alosterici" care o influenţează. Principalele moduri de reglare sînt următoarele (fig. 2):

1. *Inhibiţia prin feed back* (retroinhibiţie): enzima care catalizează prima etapă a unei secvenţe ce duce la un metabolit esenţial (constituent al proteinelor sau al acizilor nucleici, de exemplu [1]) este inhibată de produsul final al secvenţei. Concentraţia intracelulară a acestui metabolit guvernează, deci, viteza propriei lui sinteze.

---

[1] Se numeşte „metabolit" orice substanţă produsă prin metabolism; „metabolit esenţial" — substanţele universal necesare pentru creşterea şi înmulţirea celulelor.

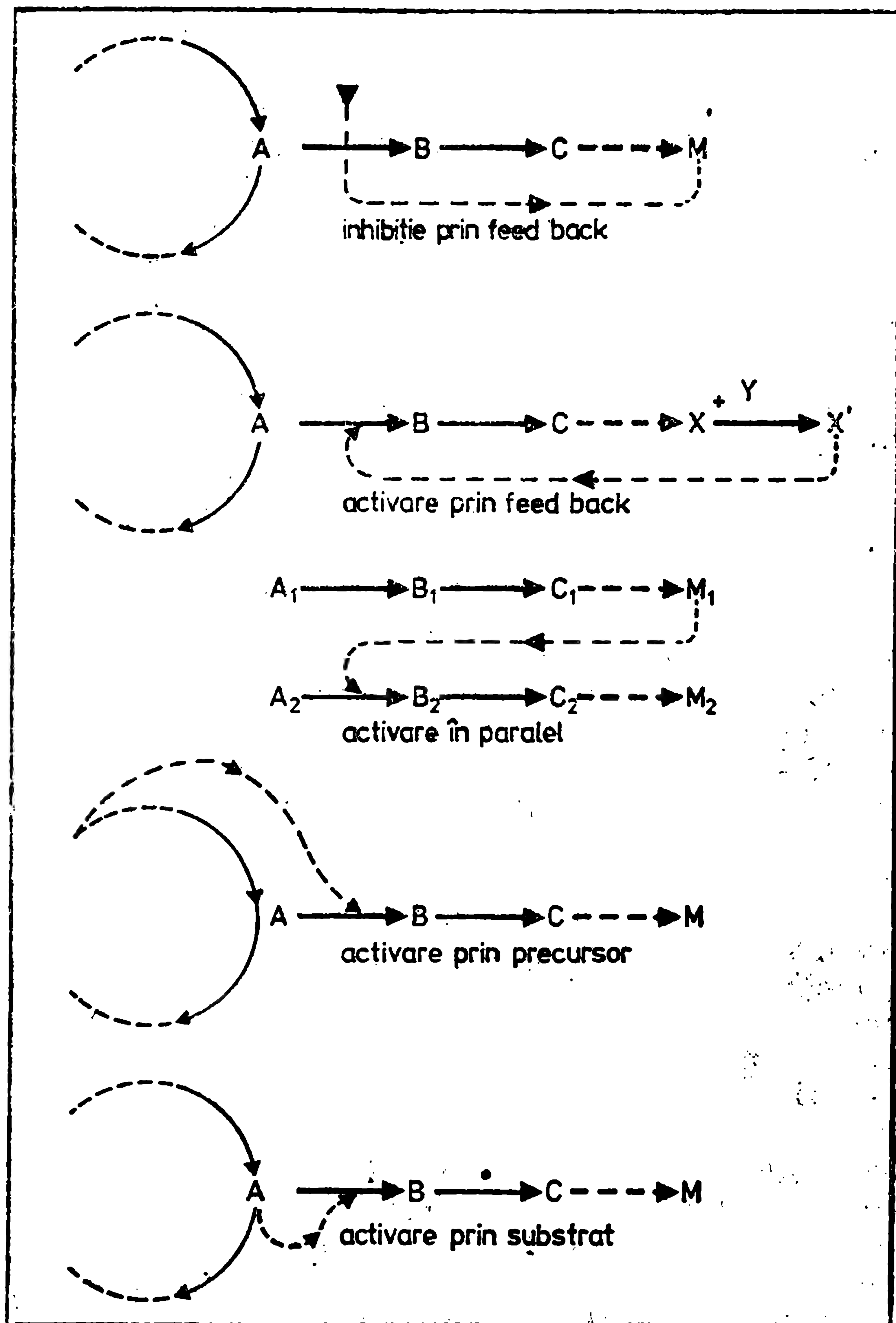


Fig. 2. Diferite „moduri de reglare" asigurate de interacțiuni alosterice

Săgețile cu linie continuă simbolizează reacții care produc substanțe intermediare (notate A, B etc.). Litera M reprezintă metabolitul final, rezultatul secvenței de reacții. Linia punctată indică originea și punctul de aplicare al unui metabolit care acționează ca efector alosteric, inhibitor sau activator al unei reacții (vezi textul de la p. 61 și 63).

2. *Activare prin feed back:* enzima este activată de un produs de descompunere a metabolitului final. Acest caz este frecvent la metaboliţii al căror potenţial chimic înalt constituie o monedă de schimb în metabolism. Acest mod de reglare contribuie, aşadar, la menţinerea unui nivel adecvat al potenţialului chimic disponibil.

3. *Activare în paralel:* prima enzimă a unei secvenţe metabolice care duce la un metabolit esenţial este activată de un metabolit sintetizat de o secvenţă independentă şi paralelă. Acest mod de reglare contribuie la ajustarea reciprocă a concentraţiilor metaboliţilor care aparţin aceleiaşi familii şi sînt destinaţi să se asambleze într-una din clasele de macromolecule.

4. *Activare prin precursor:* enzima este activată de o substanţă care este un precursor, mai mult sau mai puţin îndepărtat, al substratului ei direct. Acest mod de reglare subordonează „cererea" „ofertei". Un caz particular, extrem de frecvent, este activarea enzimei chiar de către substrat, care joacă simultan rolul lui „clasic" şi pe acela de efector alosteric al enzimei.

Se întîmplă rareori ca o enzimă alosterică să fie supusă doar unuia din aceste moduri de reglare. De regulă, aceste enzime sînt simultan influenţate de cîţiva efectori alosterici care au o acţiune antagonică sau stimulatoare. O situaţie frecvent întîlnită este reglarea „ternară", care cuprinde:

1. activarea de către substrat (modul 4);

2. inhibarea de către produsul ultim al secvenţei (modul 1);

3. activarea în paralel de către un metabolit din aceeaşi familie cu produsul ultim (modul 3).

Aşadar enzima îi recunoaşte simultan pe cei trei efectori, „măsoară" concentraţiile lor relative, iar activitatea ei în orice moment reprezintă ordinul dat de aceste trei informaţii.

Pentru a ilustra rafinamentul acestor sisteme, putem menţiona, de exemplu, modurile de reglare a căilor metabolice „ramificate", care sînt numeroase (fig. 3). În acest caz, în general, nu numai că reacţiile iniţiale, situate la bifurcaţia căilor metabolice, sînt reglate prin retroinhibiţie, dar reacţia iniţială a ramurii comune este guvernată simultan de cei doi (sau mai mulţi)

metaboliţi finali [1]. Primejdia blocării sintezei unuia din metaboliţi printr-un exces al celuilalt este evitată, după caz, în două moduri diferite:

1. fie afectînd acestei reacţii unice două enzime alosterice distincte, fiecare fiind inhibată de unul din metaboliţi, dar nu şi de celălalt;

2. fie cu o singură enzimă, care este inhibată într-un mod „coordonat" de ambii metaboliţi simultan, dar nu de unul singur dintre ei.

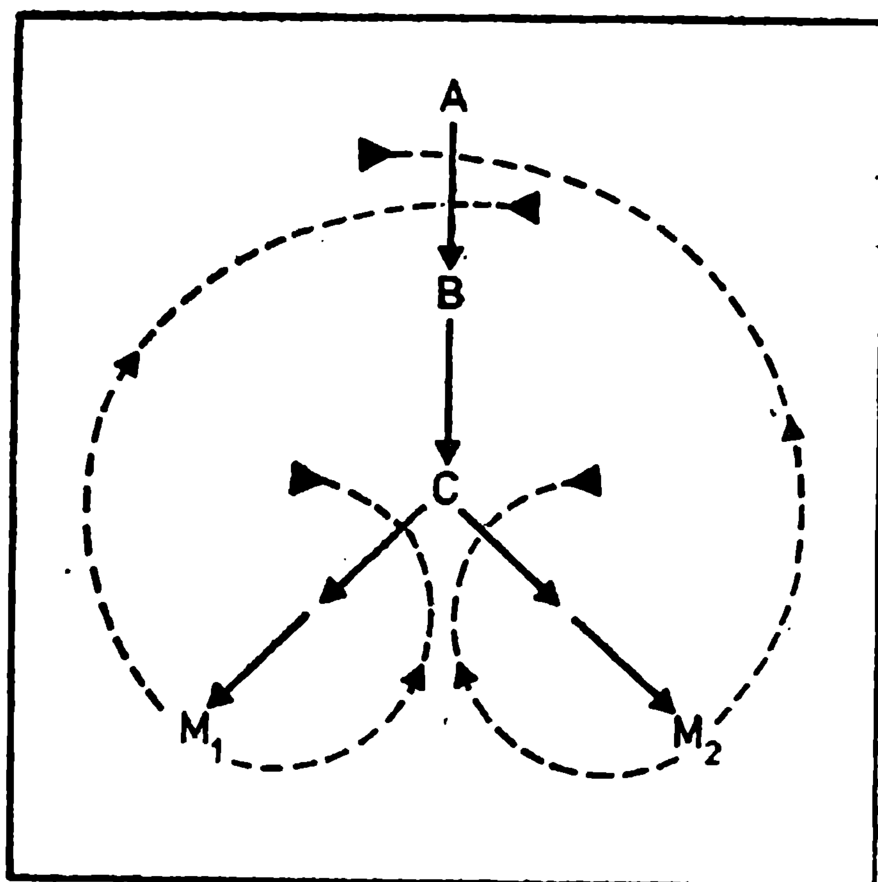


Fig. 3. Reglarea alosterică a căilor metabolice ramificate.

Simbolurile sînt aceleaşi ca în figura 2 (vezi textul din p. 62).

Trebuie să insistăm asupra faptului că, abstracţie făcînd de substrat, efectorii care reglează activitatea unei enzime alosterice nu participă în nici un fel la reacţia însăşi. În general, ei formează cu enzima doar un complex necovalent, pe deplin şi instantaneu reversibil, din care sînt eliberaţi fără vreo modificare. Consumul de energie corespunzător interacţiei reglatoare este practic nul: el nu reprezintă decît o fracţie infimă a potenţialului chimic intracelular al efectorilor. În

---

[1] E.R. Stadtman, *Advances in Enzymology*, 28, p. 41—159, 1966. G.N. Cohen, *Current Topics in Cellular Regulation*, 1, p. 183—231, 1969.

schimb, reacţia catalitică guvernată de aceste interacţii foarte slabe poate să implice transferuri de energie relativ considerabile. Aceste sisteme sînt, deci, comparabile cu cele utilizate în circuitele electronice de automatizare, unde cantitatea foarte mică de energie consumată de un releu poate să declanşeze o operaţie considerabilă, cum ar fi, de exemplu, aprinderea unei rachete balistice.

*

* *

Aşa cum un releu electronic poate fi supus simultan cîtorva potenţiale electrice, la fel o enzimă alosterică este, în general, supusă cîtorva potenţiale chimice. Analogia nu se opreşte, însă, aici. Se ştie că, în general, există interesul ca răspunsul unui releu electronic să fie *neliniar* în raport cu variaţiile potenţialului care îl guvernează. Se obţin, astfel, efecte de prag, care asigură o reglare mai precisă. La fel se întîmplă în cazul majorităţii enzimelor alosterice. Graficul pe care sînt reprezentate variaţiile de activitate ale unei astfel de enzime în funcţie de concentraţia unui efector (inclusiv substratul) este aproape întotdeauna „sigmoidal". Cu alte cuvinte, efectul ligantului [1] creşte la început *mai repede decît concentraţia lui*. Această proprietate este cu atît mai remarcabilă cu cît ea pare caracteristică pentru enzimele alosterice. La enzimele obişnuite, sau „clasice", efectul creşte întotdeauna *mai încet* decît concentraţia.

Nu ştiu care ar putea să fie greutatea minimă a unui releu electronic care prezintă aceleaşi proprietăţi logice ca o enzimă alosterică (măsurare şi însumare a trei sau patru potenţiale care comandă un răspuns cu efect de prag). Să spunem 10^{-2} grame ca ordin de mărime. Greutatea pe care o are o moleculă a unei enzime alosterice capabile de aceleaşi performanţe este de ordinul a 10^{-17} grame. Adică de un milion de miliarde de ori mai puţin decît releul electronic. Acest număr astronomic ne dă o idee despre „puterea cibernetică" (cu alte cuvinte teleonomică) de care poate dispune o celulă care conţine cîteva sute sau mii de astfel

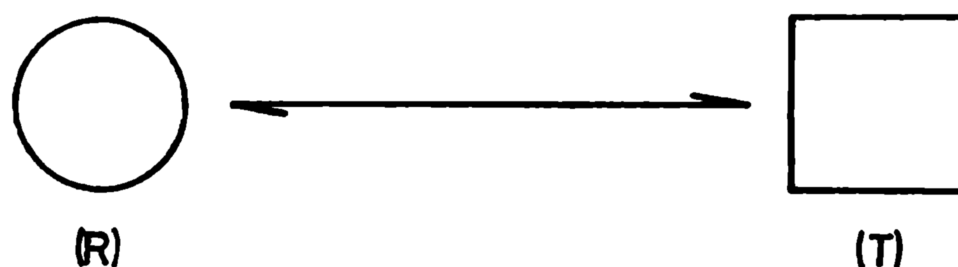
---

[1] Se numeşte ligant o substanţă caracterizată ca avînd tendinţa să se *lege* cu alta.

de ființe microscopice, mult mai inteligente decît demonii lui Maxwell-Szilard-Brillouin.

Problema este de a ști cum realizează aceste performanțe releul molecular pe care-l constituie o proteină alosterică. Se admite astăzi, pe baza unui ansamblu de fapte experimentale, că interacțiile alosterice se datorează unor tranziții discrete de structură moleculară ale proteinei însăși. Vom vedea în capitolul următor că structura complicată și compactă a unei proteine globulare este stabilizată de foarte numeroase legături *necovalente*, care, împreună, cooperează la menținerea structurii. Ca urmare, se concepe că anumitor proteine le sînt accesibile două (sau mai multe) stări conformaționale (tot așa cum anumite substanțe pot exista în diferite stări alotrope). Cele două stări în discuție și „tranziția alosterică" care face molecula să treacă în mod reversibil de la una la alta sînt adesea simbolizate în modul următor:

mecanismul interacțiilor alosterice



Acest lucru fiind stabilit, se admite (și se demonstrează în mod direct) că în virtutea structurilor *sterice* diferite ale celor două stări proprietățile de recunoaștere stereospecifice ale proteinei sînt modificate prin această tranziție. De exemplu, în starea „R" proteina se va putea asocia cu un ligant α dar, nu și cu un ligant β, care va fi recunoscut (cu excluderea lui α) de starea „T". Prezența unuia din liganți va avea, deci, ca efect stabilizarea uneia din cele două stări în defavoarea celeilalte și se poate vedea că α și β vor fi antagonici unul față de celălalt, deoarece asocierile lor respective cu proteina se exclud reciproc. Să presupunem acum un al treilea ligant γ (acesta ar putea să fie substratul), care se asociază exclusiv cu forma R, într-un situs al moleculei diferit de cel în care se fixează α. Se vede că α și γ vor coopera la stabilizarea proteinei în starea activă (cea care recunoaște substratul). Ligantul α și substratul γ vor acționa, deci, ca activa-

tori, iar ligantul β, ca inhibitor. Activitatea unei populații de molecule va fi proporțională cu fracția acelora dintre ele care vor fi în starea T, fracție care depinde desigur de concentrația relativă a celor trei liganți, ca și de valoarea echilibrului intrinsec între R și T. Ca urmare, reacția catalitică va depinde de valorile acestor trei potențiale chimice.

Să insistăm acum asupra ideii care este de departe cea mai importantă dintre cele implicate de această schemă: interacțiile cooperative sau antagonice ale celor trei liganți sînt *total indirecte. Nu există, de fapt, interacții între liganții înșiși, ci exclusiv între proteină și fiecare dintre ei separat.* Vom reveni mai departe la această idee fundamentală fără de care pare imposibil să se înțeleagă originea și dezvoltarea sistemelor cibernetice la ființele vii [1].

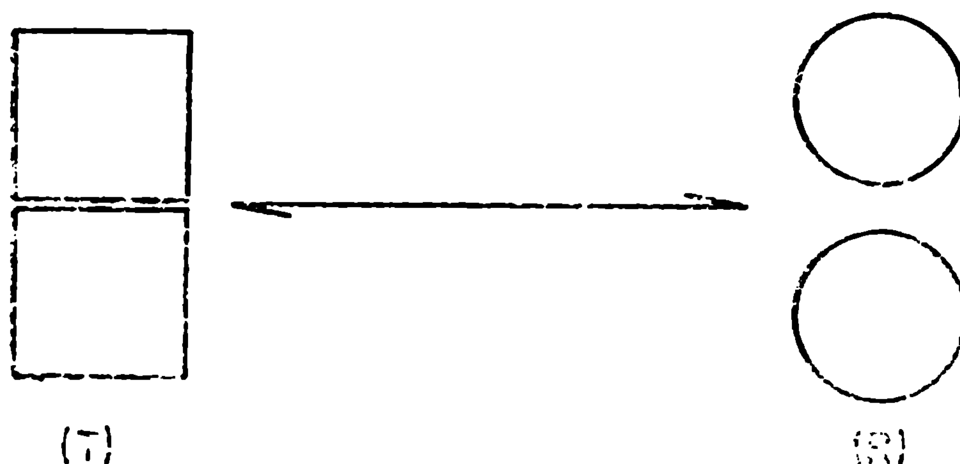
Pornind de la această schemă de interacții indirecte este posibil să se explice și subtila perfecționare pe care o constituie răspunsul „nelinear" al proteinei la variațiile de concentrație ale efectorilor ei. Toate proteinele alosterice cunoscute sînt, într-adevăr, „oligomeri", compuși prin asocierea necovalentă a unor subunități (protomeri) chimic identice, în număr mic (adesea 2 sau 4, mai rar 6, 8 sau 12). Fiecare protomer poartă cîte un receptor pentru fiecare din liganții pe care îi recunoaște proteina. Prin asocierea ei cu unul sau mai mulți protomeri, structura sterică a fiecăruia este parțial „constrînsă" de vecinii lui. Dar teoria, confirmată de experiența cristalografilor, arată că proteinele oligomere tind să adopte astfel de structuri încît toți protomerii să fie geometric echivalenți; constrîngerile la care sînt supuse sînt, deci, distribuite simetric între protomeri.

Să luăm acum cazul cel mai simplu, cel al unui dimer: să ne imaginăm la ce duce disocierea lui în doi monomeri; se vede că ruperea legăturii va permite celor doi monomeri să adopte o stare „relaxată", structural diferită de aceea la care fiecare era „constrîns" în starea asociată.

---

[1] J. Monod, J.-P. Changeux, F. Jacob, *Journal of Molecular Biology*, 6, p. 306—329, 1963.

Vom spune că transformarea de stare a celor doi protomeri este „concertată". Tocmai această coordonare explică neliniaritatea răspunsului; într-adevăr, stabilizarea de către o moleculă de ligant a stării disociate R la unul din monomeri interzice revenirea celuilalt la starea asociată, şi la fel se întîmplă în sens invers. Echilibrul celor două stări va fi o funcţie patratică de concentraţia liganţilor. El va fi o funcţie de gradul 4 pentru un tetramer şi aşa mai departe [1].



Am tratat intenţionat numai modelul cel mai simplu cu putinţă, realizat efectiv de anumite sisteme pe care există motive să le considerăm „primitive". În sistemele reale disocierea nu este decît rareori completă: protomerii rămîn asociaţi în ambele stări, deşi într-un mod mai puţin strîns într-una din ele.

De altfel, sînt posibile numeroase variaţii pe această temă de bază, dar esenţial era să arătăm că mecanisme moleculare extrem de simple, în sine, permit explicarea proprietăţilor „integratoare" ale proteinelor alosterice.

*

* *

Enzimele alosterice citate pînă acum constituie, totodată, o unitate de funcţie chimică şi un element mijlocitor de interacţii reglatorii. Proprietăţile lor vor permite să se înţeleagă cum starea homeostatică a *metabolismului celular* este menţinută la maximum de eficienţă şi coerenţă.

---

[1] J. Monod, J. Wyman şi J.-P. Changeux, *Journal of Molecular Biology*, 12, p. 88—118, 1965.

Prin metabolism se înțeleg, însă, în esență, transformările moleculelor mici și mobilizarea potențialului chimic. Chimia celulară cuprinde un alt nivel de sinteză: cea a macromoleculelor, acizilor nucleici și proteinelor (care cuprind, mai ales, enzimele). Se știe demult că tot la acest nivel funcționează sisteme reglatorii. Studierea lor este mult mai dificilă decît a enzimelor alosterice, de fapt unul singur dintre ele a putut, pînă în prezent, să fie studiat aproape pe deplin. Îl vom lua ca exemplu.

reglarea sintezei enzimelor

Acest sistem (numit sistemul lactozic) controlează sinteza a trei proteine la bacteria *Escherichia coli*. Una din ele (galactozidpermeaza) permite galactozidelor [1] să pătrundă și să se acumuleze în interiorul celulelor, a căror membrană, în absența proteinei amintite, este impermeabilă la aceste zaharide. O a doua proteină hidrolizează β—galactozidele (vezi cap. 3). Funcția celei de a treia proteine nu este bine înțeleasă și probabil este minoră. Primele două, în schimb, sînt amîndouă, simultan, indispensabile folosirii metabolice a lactozei (și a altor galactozide) de către bacterii.

Cînd bacteriile cresc într-un mediu de cultură lipsit de galactozide, cele trei proteine sînt sintetizate într-un ritm abia măsurabil de, în medie, o moleculă la cinci generații. Aproape imediat (în aproximativ două minute) după adăugarea la mediu a unui galactozid (considerat ca „inductor") ritmul sintezei celor trei proteine crește cu un factor de 1000 și se menține la această valoare cît timp inductorul este prezent. Dacă inductorul este retras, viteza de sinteză revine în două—trei minute la valoarea inițială.

Concluziile analizei acestui fenomen uluitor și cvasimiraculos de teleonomic [2] sînt rezumate de schema din figura 4. Vom renunța să discutăm aici partea dreaptă a schemei care reprezintă operațiile de sinteză a ARN „mesager" și „traducerea" lui în secvențe polipeptidice. Să reținem numai că mesagerul avînd o viață destul de scurtă (de cîteva minute), tocmai viteza sintezei

---

[1] Vezi cap. 3, p. 53.

[2] Cercetătorul finlandez Karstrom, care în anii '30 a adus contribuții notabile la studierea acestor fenomene, a abandonat ulterior cercetarea, pare-se, pentru a se călugări.

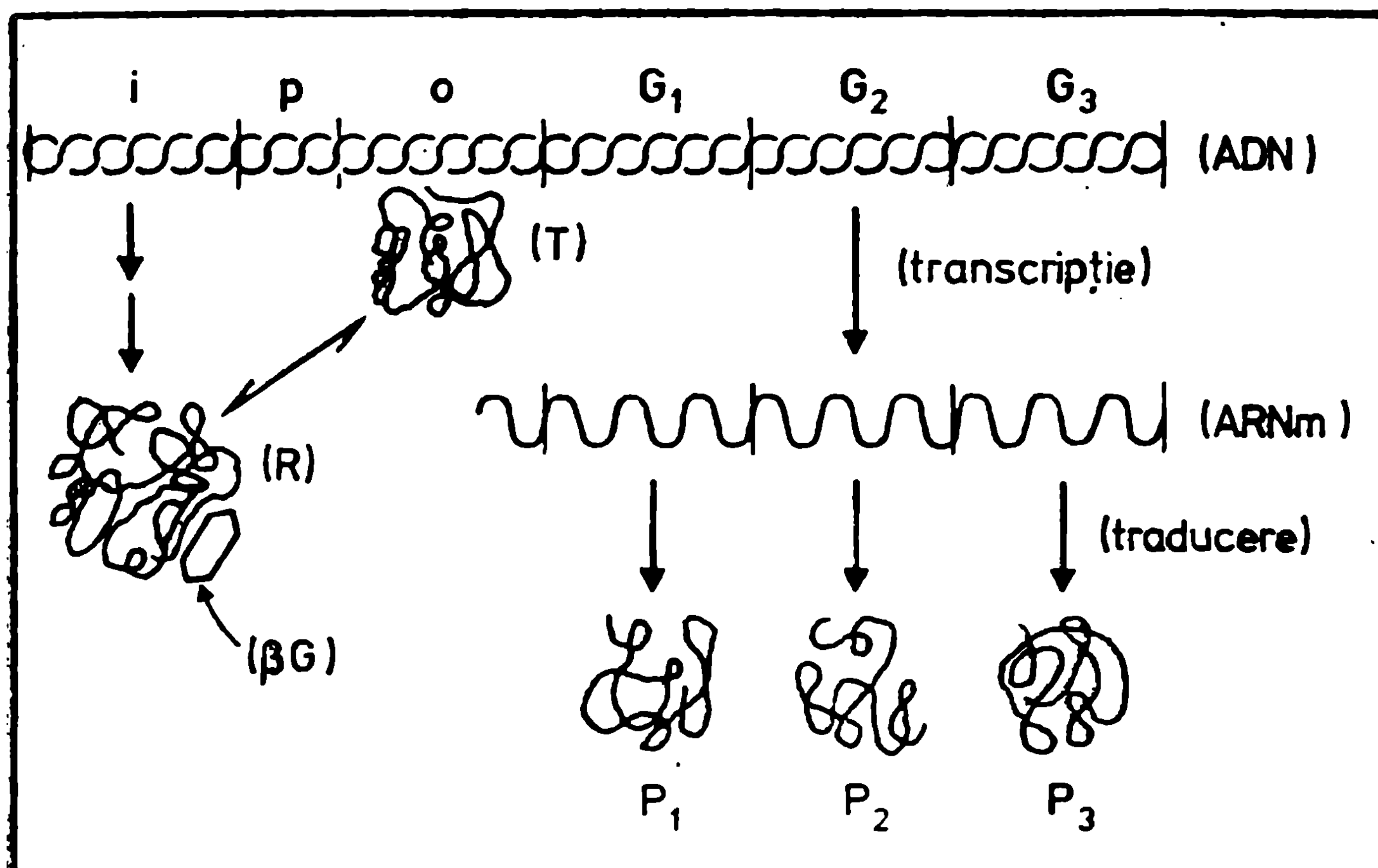


Fig. 4. Reglarea sintezei enzimelor sistemului lactozic

R: Proteina-represor în stare asociată cu galactozidul inductor, reprezentat printr-un hexagon (βG)
T: Proteina-represor în stare asociată cu segmentul operator (o) al ADN
i: „Genă reglator" care controlează sinteza represorului
p: Segment „promotor", punct de pornire al sintezei acidului ribonucleic mesager (ARNm)
G_1, G_2, G_3: Gene structurale care controlează sinteza celor trei proteine-enzimatice din sistem, notate P_1, P_2, P_3 (vezi textul la p. 69-70).

lui determină viteza de sinteză a celor trei protein-enzime. Pe noi ne interesează, în principal, componentele sistemului de reglare. Acestea cuprind:

— gena „reglator" (i)
— proteina-represor (R)
— segmentul „operator" (o) al ADN
— segmentul „promotor" (p) al ADN
— o moleculă de galactozid inductor (βG).

Mecanismul sistemului reglator este următorul:

a) gena reglator dirijează sinteza, în cantităţi constante şi foarte mici, a proteinei-represor;

b) represorul recunoaşte specific segmentul operator de care se leagă formînd un complex foarte stabil (corespunzător unui ΔF de aproximativ 15 kcal);

c) în acest stadiu sinteza mesagerului (care implică intervenţia enzimei ARN—polimeraza) este blocată, foarte probabil prin simplă blocare sterică, declanşarea acestei sinteze avînd loc obligator la nivelul promotorului;

d) represorul recunoaşte şi β—galactozidele; dar nu se leagă ferm cu ele decît în *stare liberă*; în prezenţa β—galactozidelor, prin urmare, complexul operator-represor se disociază, permiţînd sinteza mesagerului, deci, a proteinelor [1].

Trebuie să subliniem că cele două interacţii ale represorului sînt necovalente şi reversibile şi că, mai ales, inductorul nu este modificat prin legarea lui cu represorul. Aşadar, logica acestui sistem este extrem de simplă: represorul inactivează transcripţia; la rîndul lui el este inactivat de inductor. Din această dublă negaţie rezultă un efect pozitiv, o „afirmaţie". Se poate observa că logica acestei negaţii nu este dialectică: ea nu duce la o propoziţie nouă, ci la simpla reiterare a propoziţiei iniţiale, înscrisă în structura ADN conform codului genetic. Logica sistemelor biologice de reglare nu ascultă de cea a lui Hegel, ci, ca şi logica calculatoarelor, de algebra booleană.

Se cunosc în prezent (la bacterii) numeroase sisteme analoge acestuia. Niciunul dintre ele nu a fost pînă acum „demontat" total. Pare, totuşi, foarte probabil ca logica unora dintre acestea să fie mai complicată decît aceea a sistemului lactozic, mai ales prin faptul că nu comportă exclusiv interacţii negative. Dar ideile cele mai generale şi cele mai semnificative, care rezultă din analiza sistemului lactozic, sînt valabile şi pentru aceste sisteme diferite. Ideile pe care le avem în vedere sînt următoarele:

a) Represorul, lipsit prin el însuşi de orice activitate, este un pur mediator (transductor) de semnale chimice.

b) Efectul galactozidului asupra sintezei enzimei este total indirect, datorîndu-se exclusiv proprietăţilor de recunoaştere ale represorului şi faptului că acestuia îi

---

[1] F. Jacob şi J. Monod, *Journal of Molecular Biology*, 8, p. 310—356, 1961. Cf. de asemenea „The lactose operon", Cold Spring Harbor Monograph, 1970, J.R. Beckwith and David Zipser Eds.

sînt accesibile două stări, reciproc exclusive. Este vorba, deci, într-adevăr, de o interacţie alosterică în sensul schemei generale discutate mai înainte.

c) Nu există nici o legătură *chimic necesară* între faptul că β—galactozidaza hidrolizează β—galactozidele şi faptul că propria-i biosinteză este indusă de aceleaşi substanţe. Fiziologic utilă, „raţională", aceeaşi relaţie este sub raport chimic arbitrară. O vom numi „gratuită".

noţiunea de gratuitate

Această noţiune fundamentală de *gratuitate*, adică de independenţă chimică între funcţia însăşi şi natura semnalelor chimice de care depinde, se aplică enzimelor alosterice. În acest caz, una şi aceeaşi moleculă de proteină îndeplineşte atît funcţia catalitică specifică, cît şi funcţia reglatoare. După cum s-a văzut, însă, interacţiile alosterice sînt indirecte, datorîndu-se exclusiv proprietăţilor diferenţiale de recunoaştere stereospecifică ale proteinei în cele două (sau mai multe) stări care îi sînt accesibile. Între substratul unei enzime alosterice şi liganţii care activează sau inhibă activitatea ei nu există nici o legătură *chimic necesară* de structură sau de reactivitate. Specificitatea interacţiilor este la urma urmelor independentă de structura liganţilor: ea se datorează întru totul celei a proteinei în diversele stări care îi sînt accesibile, structură care la rîndul ei este liber, arbitrar, *dictată* de cea a unei gene.

De aici rezultă — iar acesta este aspectul fundamental — că în materie de reglare prin intermediul unei proteine alosterice *totul este posibil*. O proteină alosterică trebuie să fie considerată un produs specializat de „engineering" molecular care permite ca între substanţe lipsite de afinitate chimică să se stabilească o interacţie, pozitivă sau negativă, şi astfel ca o reacţie oarecare să fie aservită unor compuşi care, sub raport chimic, sînt străini şi indiferenţi faţă de această reacţie. Principiul operator al interacţiilor alosterice acordă, deci, deplină libertate în „alegerea" subordonărilor, care, scăpînd de orice constrîngere chimică, vor putea cu atît mai mult să nu asculte decît de constrîngerile fiziologice în virtutea cărora ele vor fi selecţionate conform plusului de coerenţă şi de eficienţă pe care-l conferă celulei sau organismului. În definitiv, tocmai *gratuitatea* acestor sisteme, deschizîndu-i evoluţiei mo-

leculare un cîmp practic nelimitat de explorare şi experienţe, i-a permis să construiască imensa reţea de conexiuni cibernetice care fac dintr-un organism o unitate funcţională autonomă, ale cărei performanţe par să treacă dincolo de legile chimiei, dacă nu chiar să le scape.

De fapt, cum s-a văzut, cînd aceste performanţe sînt analizate la scară microscopică, moleculară, ele apar pe deplin interpretabile în termeni de interacţii chimice specifice, asigurate selectiv, alese liber şi organizate de proteine reglatorii. Şi tocmai în structura acestor molecule trebuie să se vadă sursa ultimă a autonomiei sau, mai exact, a autodeterminării care caracterizează fiinţele vii în performanţele lor.

Sistemele pe care le-am examinat pînă aici sînt dintre cele care coordonează activitatea celulei şi fac din celulă o unitate funcţională. La organismele pluricelulare, sisteme specializate asigură coordonarea între celule, ţesuturi sau organe: este vorba nu numai de sistemul nervos şi de sistemul endocrin, ci şi de interacţii directe între celule. Nu voi aborda aici analiza funcţionării acestor sisteme care scapă, încă aproape integral, descrierii microscopice. Vom admite, totuşi, ipoteza că, în aceste sisteme, interacţiile moleculare care asigură transmiterea şi interpretarea semnalelor chimice se datorează unor proteine dotate cu proprietăţi de recunoaştere stereospecifice diferenţiale, cărora li se aplică principiul esenţial al gratuităţii chimice aşa cum rezultă el din studierea interacţiilor alosterice propriu-zise.

*

* *

„holism“ şi reducţionism

În încheierea acestui capitol ar fi poate cazul să ne întoarcem la vechea dispută dintre „reducţionişti“ şi „organicişti“. Se ştie că unele şcoli de gîndire (toate influenţate mai mult sau mai puţin conştient ori confuz de Hegel) ţin să conteste valoarea abordării *analitice* cînd este vorba de sisteme atît de complexe ca fiinţele vii. Conform acestor şcoli („organiciste“ sau „holiste“) care, ca şi pasărea Phoenix, renasc la fie-

care generație [1], atitudinea analitică, calificată drept „reducționistă“, ar fi iremediabil sterilă, deoarece pretinde reducerea pur și simplu a însușirilor unei organizări foarte complexe la „suma“ însușirilor pe care le au părțile ei. Este o dispută absolut stupidă și foarte dăunătoare, care dovedește din partea „holiștilor“ doar o profundă desconsiderare a metodei științifice și a rolului esențial pe care-l joacă analiza. Se poate, oare, concepe că un inginer extraterestru, care vrea să interpreteze funcționarea unui calculator de pe Pămînt, ar putea să ajungă la vreun rezultat dacă ar refuza, din principiu, să disece componentele electronice de bază care efectuează operațiile de calcul propozițional? Dacă există un domeniu al biologiei moleculare care ilustrează mai mult decît altele sterilitatea tezei organiciste în opoziție cu puterea metodei analitice, el este tocmai studierea acestei cibernetici microscopice, întrevăzută în cursul capitolului de față.

Analiza interacțiilor alosterice arată în primul rînd că performanțele teleonomice nu sînt apanajul exclusiv al sistemelor complexe, deoarece o singură moleculă de proteină se dovedește deja capabilă nu numai să activeze selectiv o reacție, ci și să-și regleze activitatea în funcție de *mai multe* informații chimice.

Vedem, în al doilea rînd, cu ajutorul noțiunii de gratuitate, cum și de ce aceste interacții reglatorii moleculare, care scapă constrîngerilor chimice, au putut să fie alese selectiv numai în virtutea participării lor la coerența sistemului.

Studierea acestor sisteme microscopice ne arată, în fine, că bogăția, complexitatea și puterea rețelei cibernetice prezente în ființele vii depășesc cu foarte mult ceea ce ne-ar permite vreodată să întrezărim studierea exclusivă a performanțelor globale ale organis-

---

[1] Cf. Koestler and Smythies, *Beyond Reductionism*, Hutchinson, London, 1969.

melor. Şi chiar dacă aceste analize sînt încă departe de a oferi o descriere completă a sistemului cibernetic al celulei celei mai simple, ele dezvăluie că, fără excepţie, toate activităţile care contribuie la creşterea şi înmulţirea acestei celule sînt, direct sau nu, reciproc interactive.

Tocmai pe aceste baze, iar nu pe cea a unei vagi „teorii generale a sistemelor" [1], devine posibil să înţelegem în ce sens, foarte real, organismul transcende efectiv, totodată respectîndu-le, legile fizicii, pentru a nu reprezenta decît urmărirea şi realizarea propriului proiect.

---

[1] Von Bertalanfy, în Koestler, *loc. cit.*

5
ONTOGENEZĂ MOLECULARĂ

După cum am văzut, prin structurile lor macroscopice şi prin funcţiile lor, fiinţele vii sînt îndeaproape comparabile cu nişte maşini. În schimb, ele diferă radical de maşini prin modul lor de construcţie. O maşină, un artefact oarecare, îşi datorează structura macroscopică acţiunii unor forţe exterioare, unor unelte care acţionează asupra unei materii pentru a-i impune o formă. Formele Afroditei sînt desprinse din marmură de dalta sculptorului; dar zeiţa, ea, s-a născut din spuma valurilor (fecundate de organul sîngerînd al lui Uranus), de unde corpul ei a înflorit de la sine, prin sine.

Aş vrea, în capitolul de faţă, să arăt că acest proces de morfogeneză spontană şi autonomă se bazează, în ultimă analiză, pe proprietăţile de recunoaştere stereospecifică ale proteinelor, că el este, deci, de ordin microscopic, înainte de a se manifesta în structuri macroscopice. În încheiere, vom căuta în structurile primare ale proteinelor „secretul" acestor proprietăţi cognitive, care le transformă în demoni ai lui Maxwell, însufleţitori şi constructori ai sistemelor vii.

Trebuie mai întîi să subliniem că problemele pe care le abordăm acum, ale mecanismului dezvoltării, mai ridică în faţa biologiei enigme profunde. Căci, dacă embriologia a oferit admirabile descrieri ale dezvoltării, sîntem încă departe de a şti să analizăm ontogeneza structurilor macroscopice în termeni de interacţii microscopice. În schimb, construirea anumitor

edificii moleculare este în prezent destul de bine înțeleasă și aș vrea să arăt că esența fizică a fenomenului se dezvăluie într-un veritabil proces de „ontogeneză moleculară".

Am avut ocazia să amintesc că proteinele globulare se prezintă adesea sub forma unor agregate care conțin un număr finit de subunități chimice identice. Numărul de subunități componente fiind în general mic, acestor proteine li se spune „oligomeri". În acești oligomeri, subunitățile (protomerii) sînt legate exclusiv prin legături necovalente. În plus, după cum am văzut, aranjamentul protomerilor într-o moleculă de oligomer are loc în așa fel încît fiecare dintre ei este geometric echivalent cu oricare dintre ceilalți. Aceasta presupune cu necesitate ca fiecare protomer să poată fi convertit în oricare dintre ceilalți printr-o operație de simetrie, de fapt printr-o rotație. Se demonstrează ușor că oligomerii astfel constituiți posedă elementele de simetrie ale uneia din grupele punctiforme de rotație.

Aceste molecule constituie, deci, veritabile cristale microscopice, care aparțin, însă, unei clase speciale pe care aș numi-o a „cristalelor închise", deoarece, contrar cristalelor propriu-zise, ele nu pot crește fără să dobîndească elemente de simetrie noi, totodată pierzînd (în general) unele din cele pe care le posedau.

unirea spontană a subunităților în proteine oligomerice

Am văzut deja, în sfîrșit, că anumite proprietăți funcționale ale acestor proteine sînt legate de starea lor oligomerică și de structura lor simetrică. Construirea acestor edificii microscopice pune, deci, o problemă semnificativă sub raport biologic și, totodată, interesantă sub raport fizic.

Întrucît într-o moleculă de oligomer protomerii sînt legați numai prin legături necovalente, este adesea posibilă, prin tratamente foarte moderate (care nu implică, de exemplu, recurgerea la temperaturi înalte sau la agenți chimici agresivi), disocierea lor în unități monomerice. În această stare proteina și-a pierdut în general toate proprietățile funcționale, catalitice sau reglatorii. Or, și acesta este aspectul important, cînd condițiile inițiale „normale" sînt restabilite (prin eliminarea agentului disociant) se constată, în general, că agregatele oligomerice se reconstituie spon-

tan, cu restabilirea totală a stării „native": același număr de protomeri, aceeași simetrie, însoțită de reapariția integrală a proprietăților funcționale.

În plus, reasocierea subunităților care aparțin unei aceleiași specii de proteine se produce nu numai într-o soluție conținînd exclusiv această proteină. Ea are loc la fel de bine în amestecuri complexe care conțin sute, dacă nu mii, de alte proteine. Este o dovadă că și aici există un proces de recunoaștere de o extremă specificitate, evident datorat formării de complecși sterici necovalenți care asociază protomerii între ei. Acest proces sîntem îndreptățiți să-l considerăm *epigenetic* [1], deoarece, pornind de la o soluție de molecule de monomeri lipsite de orice simetrie, au apărut molecule mai mari și cu un grad de ordine superior și care, totodată, au dobîndit proprietăți funcționale total absente anterior.

Esențial pentru ceea ce ne interesează aici este caracterul *spontan* al acestui proces de epigeneză moleculară. Spontan în două sensuri:

1. Potențialul chimic necesar formării oligomerilor nu trebuie să fie introdus în sistem: trebuie să se considere că el este prezent în soluția de monomeri.

2. Spontan sub raport termodinamic, procesul este spontan și sub raport cinetic: pentru activarea lui nu este nevoie de nici un catalizator. Aceasta, evident, datorită faptului că legăturile stabilite sînt necovalente. Am subliniat deja extrema importanță a faptului că formarea și desfacerea acestor legături nu pune în joc decît energii de activare aproape nule.

structurare spontană a unor particule complexe

Un astfel de fenomen este comparabil îndeaproape cu formarea cristalelor moleculare pornind de la o soluție de molecule constitutive. Și aici are loc o instituire spontană de ordine prin legarea între ele a unor

---

[1] Se știe că apariția structurilor și proprietăților noi în cursul dezvoltării embrionare a fost deseori calificată drept un proces „epigenetic", deoarece el vădește o îmbogățire treptată a organismului pornind de la datul pur genetic, reprezentat de oul inițial. Adjectivul este deseori folosit referitor la teoriile, azi depășite, care îi opuneau pe „preformiști" (convinși că oul conține o miniatură a animalului adult) adepților epigeneticii (care credeau într-o îmbogățire *reală* a informației inițiale). Eu folosesc aici termenul pentru a califica, fără referire la vreo teorie, orice proces de dezvoltare structurală și funcțională.

molecule aparținînd aceleiași specii chimice. Analogia este cu atît mai evidentă cu cît în ambele cazuri se formează structuri ordonate conform unor reguli de geometrie simple și repetitive. Recent, s-a putut, însă, arăta că anumite organite celulare cu o structură mult mai complexă sînt și ele produsul unei asamblări spontane. Este cazul particulelor numite ribozomi, care sînt componente esențiale ale mecanismului de traducere a codului genetic, adică ale sintezei proteinelor. Aceste particule, a căror masă moleculară ajunge la 10^6, sînt constituite prin agregarea a vreo cincizeci de proteine distincte și a trei tipuri diferite de acizi nucleici. Chiar dacă rolul exact pe care-l îndeplinesc acești diferiți constituenți în ribozom nu este cunoscut, este totuși sigur că organizarea lor este extrem de precisă și că activitatea funcțională a particulei depinde de ea. Or, pornindu-se de la constituenții disociați ai ribozomilor, se asistă la reconstituirea spontană, *in vitro*, a unor particule cu aceeași compoziție și aceeași masă moleculară și care au aceeași activitate funcțională ca materialul „nativ" inițial [1].

Fără îndoială, însă, că exemplul cel mai spectaculos cunoscut, în prezent, de construcție spontană a unui edificiu molecular complex este cel al anumitor bacteriofagi [2]. Structura complicată și foarte precisă a bacteriofagului T4 corespunde nu numai funcției de a proteja genomul (adică ADN) virusului, ci și de a se atașa de peretele celulei gazdă pentru a-i injecta, ca o seringă, conținutul său de ADN. Diferitele piese ale acestui mecanism microscopic de precizie pot fi obținute separat pornindu-se de la diferiți mutanți ai virusului. Amestecate *in vitro*, ele se agregă *spontan* pentru a reconstitui particule identice cu cele normale și întru totul capabile să-și exercite funcția de seringă cu ADN [3].

Toate aceste observații sînt relativ recente și ne putem aștepta în acest domeniu de cercetări la progrese importante care să ducă la reconstituirea *in*

---

[1] M. Nomura, „Ribosomes", *Scientific American*, 221, 28, 1969.

[2] Se numesc „bacteriofagi" virusurile care atacă bacterii.

[3] R.S. Edgar, W.B. Wood „Morphogenesis of bacteriophage T, in extracts of mutant infected cells", *Proceedings of the National Academy of Science*, 55, 498, 1966.

vitro a unor organite celulare tot mai complexe, de exemplu mitocondrii sau membrane. Cele cîteva cazuri trecute aici în revistă sînt, însă, suficiente pentru a ilustra procesul datorită căruia structuri complexe, de care sînt legate proprietăți funcționale, se construiesc prin agregarea stereospecifică, *spontană*, a constituenților lor proteici. Au loc o „apariție" de ordine, o diferențiere structurală, o dobîndire de funcții pornind de la un amestec dezordonat de molecule individuale lipsite de orice activitate, de orice proprietate funcțională intrinsecă în afara aceleia de a-și recunoaște partenerii cu care vor constitui structura. Iar dacă în cazul ribozomilor sau bacteriofagilor nu se mai poate vorbi de cristalizare, deoarece aceste particule sînt de un grad de complexitate, adică de ordine, cu mult superior celui care caracterizează un cristal, nu e mai puțin adevărat că, în ultimă analiză, interacțiile chimice puse în joc sînt de aceeași natură cu cele care construiesc un cristal molecular. La fel ca într-un cristal, sursa de „informație" pentru construirea ansamblului o constituie însăși structura moleculelor agregate. Esența acestor procese epigenetice constă, deci, în faptul că organizarea de ansamblu a unui edificiu multimolecular este conținută potențial în structura constituenților lui, dar nu se dezvăluie, nu devine *actuală* decît prin agregarea lor.

După cum se vede, această analiză reduce la o dispută verbală lipsită de orice interes vechea ceartă dintre preformiști și susținătorii epigeneticii. Structura finită nu este nicăieri, ca atare, preformată. Dar planul structurii este prezent în chiar constituenții ei. Ea se poate, deci, realiza în mod autonom și spontan fără vreo intervenție exterioară, fără introducerea de informație nouă. Informația este prezentă, dar neexprimată, în constituenți. Construcția epigenetică a unei structuri nu este o *creație*, ci o *revelare*.

*
* *

morfogeneză microscopică și morfogeneză macroscopică

Biologii moderni sînt convinși că această concepție, bazată nemijlocit pe studierea formării edificiilor microscopice poate și trebuie să explice și epigeneza structurilor macroscopice (țesuturi, organe, membre etc.), dar admit, totodată, că este vorba de o extrapolare

căreia îi mai lipsesc verificările concrete. Aceste probleme se pun, într-adevăr, la o cu totul altă scară, nu numai ca dimensiuni, ci și sub raportul complexității. Interacțiile constructive cele mai importante la această scară nu au loc între componente moleculare, ci între celule. S-a putut arăta că celule izolate dintr-un același țesut sînt efectiv capabile să se recunoască între ele, diferențiat, și să se reunească. Totuși, încă nu se știe care sînt componentele sau structurile care identifică celulele unele în raport cu celelalte. Totul ne face să credem că este vorba de structuri caracteristice ale membranelor celulare. Nu se știe însă dacă aceste elemente de recunoaștere sînt structuri moleculare individuale sau rețele multimoleculare de suprafață [1]. Oricum, chiar dacă ar fi vorba de rețele care nu sînt constituite exclusiv din proteine, structura unor astfel de rețele trebuie, în ultimă analiză, să fi fost în mod necesar determinată de proprietățile de recunoaștere ale constituenților lor proteici, ca și de cele ale enzimelor răspunzătoare de biosinteza celorlalte componente ale rețelei (de exemplu polizaharide sau lipide).

Este, deci, posibil ca proprietățile „cognitive" ale celulelor să nu fie manifestarea directă a facultăților discriminatorii ale cîtorva proteine, ci să exprime aceste facultăți doar pe căi foarte ocolite. Reținem, totuși, că formarea unui țesut sau diferențierea unui organ — fenomene macroscopice — trebuie să fie considerate rezultanta integrată a unor interacții microscopice multiple datorate proteinelor și bazate pe proprietățile de recunoaștere stereospecifică ale acestora, prin formarea *spontană* de complecși necovalenți.

Trebuie să admitem, însă, că această „reducere la microscopic" a fenomenelor morfogenezei nu constituie, deocamdată, o veritabilă teorie a acestor fenomene. Este vorba mai degrabă de o poziție de principiu ce specifică doar termenii în care ar trebui să fie formulată o asemenea teorie pentru a putea considera că ea oferă mai mult decît o simplă descriere a fenomenelor. Acest

---

[1] J.—P. Changeux, în „Symmetry and function in biological systems at the macromolecular level", A. Engström and B. Strandberg Ed., *Nobel Symposium* nr. 11, p. 235—256, 1969, John Wilery and Sons Inc., New York.

principiu definește obiectivul care urmează să fie atins, dar nu luminează decît slab calea spre el. Să ne gîndim la formidabila problemă pe care o constituie interpretarea la scară moleculară a dezvoltării unui aparat atît de complex ca sistemul nervos central, în care trebuie să se realizeze miliarde de interconexiuni specifice între celule, parte din ele la distanțe relativ considerabile.

Această problemă a influențelor, a orientărilor la distanță este, fără îndoială, problema cea mai grea și mai importantă a embriologiei. Pentru a explica, în special, fenomenele de regenerare, embriologii au introdus noțiunea de „cîmp morfogenetic" sau de „gradient". Este o noțiune care la prima vedere pare că o depășește cu mult pe aceea de interacție stereospecifică la scara a cîțiva angströmi. Totuși, numai noțiunea din urmă prezintă un sens material precis și nu este nicidecum de neconceput ca astfel de interacții, multiplicate și repetate din aproape în aproape, să poată crea sau defini o organizare la scară milimetrică ori centimetrică. Aceasta este direcția în care se orientează biologia modernă. Pare destul de probabil că noțiunea de interacții stereospecifice pur *statice* se va dovedi insuficientă pentru interpretarea „cîmpului" sau a gradientelor morfogenetice. Ea ar trebui să fie îmbogățită cu ipoteze cinetice analoge, poate, celor care au permis interpretarea interacțiilor alosterice. În ceea ce mă privește, eu rămîn, însă, convins că numai proprietățile asociative stereospecifice ale proteinelor vor putea, în ultimă analiză, să ne ofere cheia acestor fenomene.

*

* *

Analiza funcțiilor catalitice sau reglatorii sau epigenetice ale proteinelor impune concluzia că ele se bazează — toate și înainte de orice — pe proprietățile asociative stereospecifice ale acestor molecule.

Conform concepției expuse în capitolul de față ca și în cele două precedente, toate performanțele și toate structurile teleonomice ale ființelor vii sînt, cel puțin în principiu, analizabile în acești termeni. Dacă această concepție este adecvată, și nu există motiv de îndoială că este așa, rămîne deci, pentru a rezolva paradoxul

teleonomiei, să se explice modul de formare şi mecanismele de evoluţie ale structurilor asociative stereospecifice ale proteinelor. Aici voi examina doar modul de formare a acestor structuri rezervînd problema evoluţiei lor capitolelor următoare. Sper să dovedesc că analiza amănunţită a acestor structuri moleculare, care conţin „secretul" ultim al teleonomiei, duce la concluzii cu semnificaţii profunde.

structură primară şi structură globulară a proteinelor

Pentru început, trebuie să amintim că structura tridimensională a unei proteine globulare (confruntă Anexe, p. 155) este determinată de două tipuri de legături chimice.

1. Structura numită „primară" este constituită dintr-o secvenţă topologic lineară de resturi de aminoacizi legaţi prin legături covalente. Prin ele înseşi aceste legături determină, deci, o structură fibrilară extrem de suplă şi capabilă să ia, teoretic, o cvasi-infinitate de conformaţii.

2. Conformaţia numită „nativă" a unei proteine globulare este, însă, în plus, stabilizată de un număr foarte mare de interacţii necovalente care leagă între ele resturile de aminoacizi dispuse în lungul secvenţei covalente topologic lineare. Ca urmare, fibra polipeptidică se pliază într-un mod foarte complex, luînd forma unui ghem pseudoglobular compact. Tocmai aceste plieri complexe determină, în definitiv, structura spaţială a moleculei, inclusiv forma precisă a suprafeţelor de legare stereospecifică prin care molecula îşi exercită funcţia de recunoaştere. După cum se vede, deci, suma sau cooperarea unui număr foarte mare de interacţii necovalente intramoleculare stabilizează structura funcţională care îi permite proteinei să formeze selectiv complecşi stereospecifici (de asemenea, necovalenţi) cu alte molecule.

Problema ce ne interesează aici este ontogeneza, modul de formare a acestei conformaţii particulare, unice, de care este legată funcţia cognitivă a unei proteine. Multă vreme s-a crezut că datorită înseşi complexităţii acestor structuri şi faptului că ele sînt stabilizate de interacţii necovalente, individual foarte labile, aceluiaşi lanţ polipeptidic i-ar fi accesibile un număr foarte mare de interacţii necovalente. Un întreg ansamblu de observaţii avea să demonstreze, însă, că,

de fapt, o specie chimică (definită prin structura primară) nu există în stare nativă, în condiții fiziologic normale, decît într-o singură conformație (sau, cel mult, într-un număr foarte mic de stări distincte puțin deosebite între ele, cum este cazul proteinelor alosterice). Este o conformație determinată foarte exact, cum o dovedește faptul că cristalele de proteine prezintă excelente imagini de difracție a razelor *X*, ceea ce înseamnă că poziția marii majorități a miilor de atomi care compun o moleculă este fixată cu o precizie de cîteva fracțiuni de angström. Să remarcăm, de altfel, că această uniformitate și această precizie a structurii sînt condiția însăși a specificității de asociere, proprietate esențială, sub raport biologic, a proteinelor globulare.

Principiul mecanismului de formare a acestor structuri este astăzi destul de bine înțeles. Într-adevăr, se știe:

1. că determinismul genetic al structurilor proteinelor *specifică exclusiv secvența* resturilor de aminoacizi care corespunde unei proteine date;

formarea structurilor globulare

2. că lanțul polipeptidic astfel sintetizat se pliază *spontan* și *autonom* pentru a ajunge la conformația pseudoglobulară, funcțională.

Astfel, dintre miile de conformații pliate accesibile, în principiu, lanțului polipeptidic, este aleasă și realizată de fapt una singură. Este vorba, după cum se vede, de un veritabil proces epigenetic, la nivelul cel mai simplu cu putință, cel al unei macromolecule izolate. Lanțului desfășurat îi sînt accesibile mii de conformații. Pe de altă parte, el este lipsit de orice activitate biologică, respectiv, de orice capacitate de recunoaștere stereospecifică. Formei pliate, dimpotrivă, îi este accesibilă o singură stare, care, în consecință, corespunde unui nivel de ordine foarte înalt. De această stare, exclusiv, este legată activitatea funcțională.

Explicația acestui mic miracol de epigeneză moleculară este relativ simplă ca principiu.

1. În mediul fiziologic normal, adică în faza apoasă, formele pliate ale proteinei sînt termodinamic mai stabile decît formele desfășurate. Cauza acestui cîștig de stabilitate este foarte interesantă și este important să o precizăm. Dintre resturile de aminoacizi care

constituie secvența, aproximativ jumătate sînt „hidrofobe", adică se comportă ca uleiul în apă: ele tind să se asambleze punînd în libertate, la contact, moleculele de apă imobilizate. Ca urmare, proteina ia o structură compactă, imobilizînd, prin contact reciproc, resturile de aminoacizi care compun lanțul. Rezultatul este, pentru proteine, o creștere a ordinii (sau negentropiei), compensată de expulzarea de molecule de apă, care, *eliberate*, vor spori dezordinea, adică entropia sistemului.

2. Dintre diferitele structuri pliate accesibile unei secvențe polipeptidice date, una singură sau un foarte mic număr dintre ele îngăduie realizarea structurii celei mai compacte cu putință. Această structură va fi, deci, privilegiată față de toate celelalte. Să spunem, simplificînd oarecum, că „aleasă" va fi aceea care corespunde expulzării unui număr maxim de molecule de apă. După toate datele, diferitele posibilități de realizare a unor structuri compacte depind de poziția relativă, adică de secvența resturilor de aminoacizi în lanț (începînd cu resturile hidrofobe). Conformația globulară particulară a unei proteine date, conformație de care depinde activitatea ei funcțională, este, deci, de fapt, *impusă* de secvența resturilor de aminoacizi din lanț. Totuși — și important este tocmai acest lucru — cantitatea de informație necesară pentru determinarea integrală a structurii tridimensionale a unei proteine este *mult mai mare* decît informația definită de secvența însăși. De exemplu, pentru o polipeptidă de o sută de aminoacizi, informația (H) necesară definirii secvenței va fi de aproximativ 450 biți ($H = \log_2 20^{100}$), pe cînd pentru definirea structurii tridimensionale va fi nevoie să se mai adauge acestui număr o mare cantitate de informație, de altfel, greu calculabilă (să spunem 1000—2000 de biți, cel puțin).

Se poate, deci, vedea o contradicție în asertiunea că genomul „determină integral" funcția unei proteine, de vreme ce această funcție este legată de o structură tridimensională al cărei conținut de informație este *mai bogat* decît contribuția directă adusă la această structură de determinismul genetic. Această contradicție n-a scăpat unor critici ai teoriei biologice moderne, care au relevat-o. Mai ales lui Elsässer, care consideră

Falsul paradox al „îmbogățirii" epigenetice

în mod special dezvoltarea epigenetică a structurilor (macroscopice) a ființelor vii un fenomen inexplicabil la nivelul fizicii, datorită „îmbogățirii fără cauză" pe care pare s-o dovedească.

Această obiecție dispare la o examinare amănunțită a mecanismelor epigenezei moleculare: creșterea cantității de informație prin formarea structurii tridimensionale provine din aceea că informația genetică (reprezentată de secvență) se exprimă de fapt în condiții inițiale precise (în fază apoasă, între anumite limite înguste de temperatură, compoziție ionică etc.) în așa fel încît dintre toate structurile posibile este realizabilă, concret, una singură. Condițiile inițiale, așadar, contribuie la informația inclusă în cele din urmă în structura globulară fără a o determina ca atare, ci doar eliminînd celelalte structuri posibile și propunînd astfel sau, mai degrabă, impunînd o interpretare univocă a unui mesaj care *a priori* este parțial echivoc.

*

* *

Așadar, în procesul de structurare a unei proteine globulare se pot vedea, totodată, imaginea microscopică și izvorul dezvoltării epigenetice autonome a organismului însuși, dezvoltare în care se pot distinge cîteva etape sau niveluri succesive.

1. Plierea secvențelor polipeptidice pentru generarea structurilor globulare, înzestrate cu proprietăți de legare stereospecifică.

2. Interacții de legare între proteine (sau între proteine și anumiți alți constituenți) pentru formarea organitelor celulare.

3. Interacții între celule, pentru constituirea țesuturilor și a organelor.

4. În toate aceste etape, coordonarea și diferențierea activităților chimice prin interacții de tip alosteric.

În fiecare din aceste etape apar structuri de ordin superior și funcții noi care, rezultînd din interacțiile spontane între produșii etapei precedente, dezvăluie, ca într-un foc de artificii în trepte, potențialitățile latente ale nivelurilor anterioare. Întregul determinism al fenomenului își are, în definitiv, originea în infor-

mația genetică reprezentată de suma secvențelor polipeptidice interpretate sau, mai exact, filtrate prin condițiile inițiale.

ultima ratio a structurilor teleonomice

Ultima ratio a tuturor structurilor și performanțelor teleonomice ale ființelor vii își are, deci, sediul în secvența resturilor de aminoacizi din lanțurile polipeptidice, „embrioni" ai acestor demoni biologici ai lui Maxwell care sînt proteinele globulare. Într-un anumit sens, foarte real, secretul vieții, dacă există vreunul, se află la acest nivel de organizare chimică. Și dacă se va reuși nu numai să se descrie aceste secvențe, ci și să se enunțe legea de agregare de care ascultă ele, se va putea spune că secretul a fost străpuns, că *ultima ratio* a fost descoperită.

Prima secvență completă a unei proteine globulare a fost descrisă în 1952 de Sanger. A fost, totodată, o revelație și o decepție. În această secvență, despre care se știa că determină structura, deci proprietățile selective ale unei proteine funcționale (insulina), nu s-a găsit nici o regularitate, nici o singularitate, nici o restricție. Și totuși, se mai putea spera că pe măsură ce se vor acumula astfel de probe vor ieși la lumină cîteva legi generale de agregare și anumite corelații funcționale. Se cunosc astăzi sute de secvențe corespunzînd diferitelor proteine extrase din organismele cele mai diverse. Din aceste secvențe și din compararea lor sistematică cu ajutorul mijloacelor moderne de analiză și de calcul, se poate astăzi deduce legea generală: ea este cea a hazardului, a întîmplării. Ca să fiu mai precis: aceste structuri sînt „întîmplătoare" în sensul că, chiar dacă știm exact ordinea a 199 de resturi de aminoacizi dintr-o proteină care conține 200, este imposibil să formulăm vreo regulă, teoretică sau empirică, în baza căreia să putem prevedea natura singurului rest de aminoacid încă neidentificat de analiză.

A spune despre secvența aminoacizilor dintr-o polipeptidă că este „întîmplătoare" nu înseamnă cîtuși de puțin — trebuie să subliniem acest lucru — o recunoaștere a ignoranței noastre, ci exprimarea unei constatări de fapt: anume că, de exemplu, frecvența medie cu care un anumit rest de aminoacid este urmat de un altul în polipeptide este egală cu *produsul* frec-

vențelor medii ale celor două resturi de aminoacizi în polipeptide, în general. Acest lucru se poate ilustra și într-un alt mod. Să presupunem un pachet de cărți de joc în care fiecare carte poartă numele unui aminoacid. Fie două sute de cărți de joc în care proporția *medie* a fiecărui aminoacid va fi respectată. După amestecarea cărților de joc se vor obține secvențe întîmplătoare, pe care nimic nu va permite să le deosebim de secvențele efectiv observate în polipeptidele naturale.

Dar dacă, în acest sens, orice structură primară a unei proteine pare să fi rezultat exclusiv dintr-o alegere făcută la întîmplare — pentru fiecare verigă — dintre douăzeci de resturi de aminoacizi posibili, în schimb, într-un alt sens, la fel de semnificativ, trebuie admis că această secvență *concretă* n-a fost cîtuși de puțin sintetizată la întîmplare, întrucît aceeași ordine este reprodusă, practic fără greșală, în toate moleculele proteinei respective. Dacă n-ar fi așa, ar fi de fapt imposibil să se stabilească prin analiză chimică secvența unei populații de molecule.

Trebuie, deci, să se admită că secvența „la întîmplare" din fiecare proteină este reprodusă de mii sau milioane de ori în fiecare organism, în fiecare celulă, la fiecare generație printr-un mecanism de mare fidelitate care asigură invarianța structurilor.

Se cunosc, astăzi, nu numai principiul, ci și majoritatea componentelor acestui mecanism. Vom reveni la ele într-un alt capitol. Nu este necesar să cunoști detaliile acestui mecanism pentru a înțelege semnificația profundă a mesajului misterios pe care-l constituie secvența resturilor de aminoacizi într-o catenă polipeptidică. Este un mesaj care, conform tuturor criteriilor posibile, pare să fi fost scris la întîmplare. Și totuși mesajul are un sens care se dezvăluie în interacțiile specifice, funcționale, direct teleonomice, ale structurii globulare, traducerea tridimensională a secvenței lineare. O proteină globulară este, la scară moleculară, o adevărată mașină prin proprietățile ei funcționale, dar, cum vedem acum, nu și prin structura ei fundamentală, în care nu se discerne decît jocul unor combinații oarbe. Întîmplarea este captată, menținută, reprodusă de mecanismul invarianței și astfel este transformată în ordine, în regulă, în necesitate.

Interpretarea mesajului

Dintr-un joc *totalmente* orb poate, prin definiție, să rezulte orice, inclusiv vederea. În ontogeneza unei proteine funcționale se reflectă originea și filiația întregii biosfere, iar sursa ultimă a proiectului pe care ființele vii îl reprezintă, spre care tind și pe care-l înfăptuiesc, se dezvăluie în acest mesaj, în acest text precis, fidel, dar esențialmente indescifrabil pe care-l constituie structura primară. Indescifrabil, pentru că înainte de a exprima funcția fiziologic necesară pe care o îndeplinește spontan, el nu dezvăluie în structura lui decît caracterul întîmplător al originii sale. Dar, tocmai în aceasta constă sensul cel mai profund, pentru noi, al acestui mesaj care ne vine din adîncul vremurilor.

6

INVARIANȚĂ ȘI PERTURBAȚII

De la nașterea ei, în Insulele ionice, cu aproximativ trei mii de ani în urmă, gîndirea occidentală a fost împărțită în două atitudini aparent opuse. Conform uneia din aceste filozofii, realitatea autentică și ultimă a universului nu poate să rezide decît în forme perfect imuabile, invariante prin esență. Conform celeilalte, dimpotrivă, singura realitate a universului rezidă în mișcare și evoluție.

Platon și Heraclit

De la Platon la Whitehead și de la Heraclit la Hegel și Marx, este evident că aceste epistemologii filozofice au fost întotdeauna strîns legate de ideile morale și politice ale autorilor lor. Aceste edificii ideologice, prezentate a fi *a priori*, erau de fapt construcții *a posteriori* menite să justifice o teorie etico-politică preconcepută [1].

Pentru știință unicul *a priori* este postulatul existenței obiective care o scutește — sau mai degrabă îi interzice — să participe la această dezbatere. Știința studiază evoluția, fie cea a universului, fie cea a sistemelor pe care le conține, cum ar fi biosfera, inclusiv omul. Știm că orice fenomen, orice eveniment, orice cunoaștere implică interacțiuni, care prin ele înseși generează modificări în componentele sistemului. Această noțiune nu este, totuși, nicidecum incompatibilă cu ideea că în structura universului există entități imuabile. Chiar dimpotrivă: strategia fundamentală a știin-

---

[1] Cf. K. Popper, *The Open Society and Its Enemies*, Routledge, Londra, 1945.

ței în analiza fenomenelor constă în descoperirea invarianților. Orice lege fizică, ca, de altfel, orice demonstrație matematică, precizează o relație de invarianță; propozițiile fundamentale ale științei sînt postulate universale de conservare. Este ușor să vezi, în orice exemplu ai vrea să alegi, că de fapt este imposibil să analizezi un fenomen în alți termeni decît cei ai invarianților conservați de acest fenomen. Exemplul cel mai clar este, poate, formularea legilor cineticii, care *a impus* inventarea ecuațiilor diferențiale, adică a unui mijloc de a defini schimbarea prin prisma a ceea ce rămîne neschimbat.

Se poate, desigur, pune întrebarea dacă toți invarianții, toate conservările și simetriile care constituie osatura discursului științific nu sînt cumva ficțiuni substituite realității pentru a oferi o imagine operațională a ei, parțial lipsită de substanță, dar devenită accesibilă unei logici fundate de ea însăși pe un principiu al identității pur abstract, poate „convențional". O convenție de care, totuși, rațiunea umană pare incapabilă să se lipsească.

Menționez aici această problemă clasică pentru a nota că statutul ei a fost profund modificat de revoluția cuantică. Principiul identității nu figurează ca postulat fizic în știința clasică, unde nu este folosit decît ca operație logică, fără a fi necesar să se presupună că el corespunde unei realități materiale. Cu totul altfel stau lucrurile în fizica modernă, pentru care unul din postulatele cele mai fundamentale este identitatea *absolută* a doi atomi care se află în aceeași stare cuantică [1]. De unde și valoarea de reprezentare absolută, neperfectibilă, acordată simetriilor atomice și moleculare în teoria cuantică. Se pare, deci, că astăzi principiul identității nu mai poate fi relegat la statutul de simplă regulă pentru orientarea minții: trebuie să admitem că la scară cuantică, cel puțin, el exprimă o realitate materială.

---

[1] V. Weisskopf, în „Symmetry and function in biological systems at the macromolecular level", Engström and Strandberg Ed., *Nobel Synposium* nr. 11, Wiley and Sons, New York, 1969, p. 28.

Oricum ar fi, în știință există și va rămîne un element platonician care nu poate fi scos din ea fără a o ruina. În diversitatea infinită a fenomenelor singulare, știința nu poate să caute decît invarianții.

*
* *

invarianții anatomici

În cercetarea sistematică a invarianților anatomici căreia i s-au consacrat marii naturaliști din secolul al XIX-lea de după Cuvier (și Goethe) a existat o ambiție „platoniciană". Poate că biologii moderni nu apreciază totdeauna cum trebuie geniul celor care, dedesubtul uluitoarei diversități a morfologiilor și modurilor de viață ale ființelor vii, au știut să recunoască, dacă nu o „formă" unică, măcar un număr limitat de planuri anatomice, fiecare din ele invariant în grupul pe care-l caracterizează. Desigur, nu era prea greu să se vadă că focile sînt mamifere foarte apropiate de carnivorele terestre. Era însă mult mai greu să se discearnă un același plan fundamental în anatomia tunicierilor și cea a vertebratelor, pentru a le grupa în încrengătura cordatelor. Și mai greu era să se perceapă afinitățile între cordate și echinoderme. Și nu încape îndoială, biochimia confirmă acest lucru: aricii de mare ne sînt rude considerabil mai apropiate decît membrii unor grupuri mult mai evoluate, cum sînt, de exemplu, cefalopodele.

Tocmai datorită acestei munci imense de căutare a planurilor fundamentale de organizare s-a ridicat edificiul zoologiei clasice și al paleontologiei, monument a cărui structură a chemat și totodată a justificat teoria evoluției.

Diversitatea tipurilor, însă, rămînea și trebuia, totuși, să se admită că în biosferă coexistă numeroase planuri de organizare macroscopice, radical diferite între ele. Ce pot avea comun, de pildă, o algă albastră, un infuzor, caracatița și omul? Descoperirea celulei și a teoriei celulare au permis să se întrezărească o nouă unitate dedesubtul acestei diversități. A fost nevoie, totuși, să așteptăm succesele biochimiei, mai ales cele din al doilea pătrar al secolului al XX-lea, ca să ni se dezvăluie deplin unitatea profundă și riguroasă, la scară microscopică, a întregii lumi vii. Astăzi se știe că de la bacterie și pînă la om mașinăria chimică

este în esență aceeași, atît în structurile cît și prin funcționarea ei.

1. În structura ei: toate ființele vii, fără excepție, sînt constituite din aceleași două clase principale de macromolecule: proteine și acizi nucleici. În plus, aceste macromolecule sînt formate, la toate ființele vii, prin unirea acelorași resturi, în număr limitat: douăzeci de aminoacizi la proteine, patru tipuri de nucleotide la acizii nucleici.

invarianții chimici

2. Prin funcționarea ei: aceleași reacții sau mai degrabă aceleași secvențe de reacții sînt folosite la toate organismele pentru operațiile chimice esențiale: activarea și înmagazinarea energiei chimice, biosinteza constituenților celulari.

Desigur, se întîlnesc numeroase variante pe această temă centrală a metabolismului, variante care corespund diferitelor adaptări funcționale. Totuși, aproape întotdeauna ele constau în utilizări noi ale unor secvențe metabolice universale folosite anterior în alte funcții. De exemplu, excreția azotului se face sub forme diferite la păsări și la mamifere. Primele excretă acid uric, celelalte uree. Or, calea sintetizării acidului uric la păsări nu este decît o modificare, de altfel minoră, a secvenței de reacții care, la toate organismele, sintetizează nucleotidele numite purinice (constituenți universali ai acizilor nucleici). La mamifere sinteza ureei se realizează datorită unei modificări a unei căi metabolice, de asemenea, universale: cea care duce la sinteza argininei, aminoacid prezent în toate proteinele. Se pot da ușor numeroase alte exemple.

Le-a fost dat biologilor din generația mea să realizeze această revelare a cvasiidentității chimiei celulare în întreaga biosferă. Din 1950 certitudinea era dobîndită și fiecare publicație nouă o confirmă. Speranțele „platonicienilor" celor mai convinși erau supraîmplinite.

Numai că această dezvăluire, treptată, a „formei" universale a chimiei celulare părea, din alt punct de vedere, să facă și mai acută și paradoxală problema invarianței reproductive. Dacă sub raport chimic constituenții sînt aceeași și sînt sintetizați pe aceleași căi la toate ființele vii, care este sursa prodigioasei lor diversități morfologice și fiziologice? Și mai mult, încă,

cum reușește fiecare specie, folosind aceleași substanțe și aceleași transformări chimice ca toate celelalte, să mențină neschimbată, invariantă de-a lungul generațiilor, norma structurală care o caracterizează și o diferențiază de oricare alta?

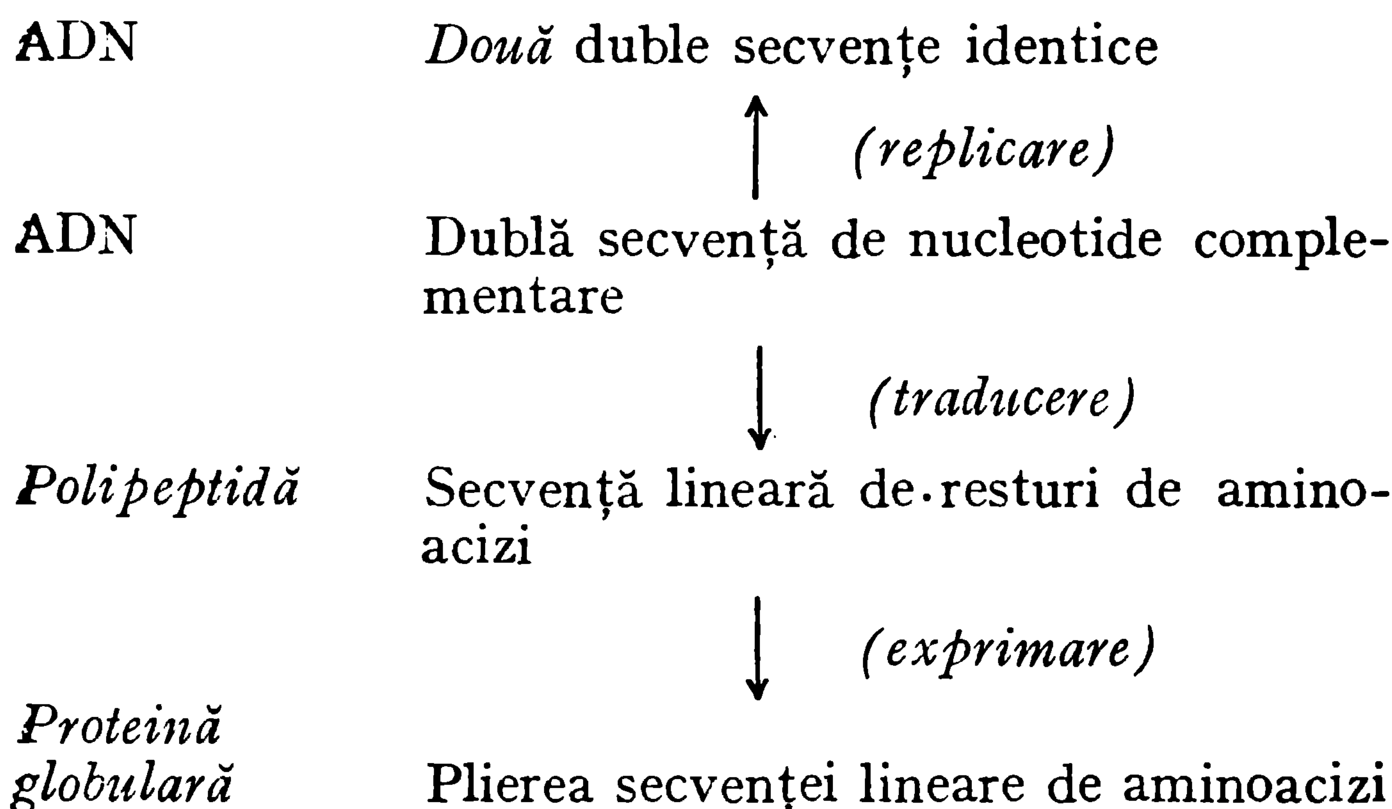
Astăzi deținem soluția acestei probleme. Constituenții universali care sînt, pe de o parte, nucleotidele și, pe de alta, aminoacizii, constituie echivalentul logic al unui alfabet în care ar fi scrisă structura și, deci, funcțiile specifice corespunzătoare ale proteinelor. În acest alfabet poate fi, deci, scrisă întreaga diversitate a structurilor și performanțelor pe care le cuprinde biosfera. De altfel, tocmai reproducerea *ne varietur*, la fiecare generație de celule, a textului scris sub forma de secvență de nucleotide în ADN asigură invarianța speciei.

ADN — invariant fundamental

Invariantul biologic fundamental este ADN. De aceea, definirea de către Mendel a genei ca purtător invariant al trăsăturilor ereditare, identificarea ei chimică de către Avery (confirmată de Hershey) și elucidarea de către Watson și Crick a bazelor structurale ale invarianței ei replicative constituie, indubitabil, descoperirile cele mai fundamentale făcute vreodată în biologie. La care trebuie să adăugăm teoria evoluției selective, care, de altfel, nu putea să-și dobîndească întreaga semnificație și certitudine decît datorită acestor descoperiri.

Structura ADN, felul în care explică această structură capacitatea lui de a dicta o copie exactă a secvenței de nucleotide care specifică o genă, mașinăria chimică prin care secvența de nucleotide a unui segment de ADN este convertită într-o secvență de aminoacizi dintr-o proteină, toate aceste fapte și noțiuni au fost pe larg și excelent expuse pentru nespecialiști. Nu le vom aminti amănunțit aici [1]. Schema de mai jos, care simbolizează numai esența celor două procese de *replicare* și de *traducere* va fi deajuns ca bază pentru prezenta discuție:

[1] Vezi Anexe, p. 159.



Primul punct care trebuie pus în lumină este că „secretul" replicării *ne varietur* al ADN rezidă în *complementaritatea stereochimică* a complexului *necovalent* pe care-l constituie cele două lanțuri unite în moleculă. Se vede, deci, că principiul fundamental al stereospecificității de asociere, care explică proprietățile de recunoaștere ale proteinelor, stă și la baza proprietăților replicative ale ADN. În ADN, însă, structura topologică a complexului este mult mai simplă decît în complecșii proteici și acest lucru permite funcționarea mecanismului de replicare. Într-adevăr, structura stereochimică a unuia din cele două lanțuri este în întregime determinată de secvența (succesiunea) resturilor de nucleotide care o compun, în virtutea faptului că fiecare din cele *patru* feluri de nucleotide nu este *individual* împerecheabil (din cauza restricțiilor sterice) decît cu *unul singur* din celelalte trei. Rezultă că:

1. structura sterică a complexului poate fi reprezentată integral în *două dimensiuni*, din care una, finită, conține în fiecare punct o pereche de nucleotide reciproc complementare, pe cînd cealaltă conține o secvență potențial infinită a acestor perechi;

2. unul (oricare) din cele două lanțuri fiind dat, secvența complementară va putea fi reconstituită din aproape în aproape prin adiții succesive de nucleotide, fiecare nucleotid fiind „ales" de partenerul său steric

predestinat. Astfel, fiecare din cele două lanţuri dictează structura complementarului său pentru a reconstitui întregul complex.

Structura de ansamblu a moleculei de ADN este cea mai simplă şi cea mai probabilă pe care o poate adopta o macromoleculă constituită prin polimerizarea lineară a unor resturi de nucleotide analoge: structura unui dublu lanţ helicoidal, determinată de două operaţii de simetrie, o translaţie şi o rotaţie. Ea poate fi, deci, privită ca un cristal filiform, în virtutea regularităţii structurii de ansamblu. Dacă se ţine, însă, seama de structura fină, trebuie spus că este vorba de un cristal *aperiodic*, deoarece secvenţa perechilor de bază nu este repetitivă. Trebuie să subliniem că secvenţa este pe deplin „liberă", în sensul că nu-i este impusă nici o restricţie de către structura de ansamblu, care se poate acomoda cu toate secvenţele posibile.

Cum am arătat mai sus, formarea acestei structuri este comparabilă îndeaproape cu cea a unui cristal. Fiecare element de secvenţă dintr-unul din cele două lanţuri joacă rolul unui germene de cristal, care alege şi orientează moleculele care i se asociază spontan, asigurînd creşterea cristalului. Două lanţuri complementare, separate artificial, refac *spontan* complexul specific, fiecare alegînd, aproape fără greşeală, perechea lui dintre miile sau milioanele de alte secvenţe.

Totuşi creşterea fiecărui lanţ implică formarea de legături *covalente* care leagă secvenţial nucleotidele între ele. Formarea acestor legături nu poate avea loc spontan: este nevoie de o sursă de energie chimică şi de un catalizator. Sursa de energie o constituie anumite legături prezente chiar în nucleotide şi care se desfac în cursul reacţiei de condensare. Aceasta din urmă este catalizată de o enzimă, ADN—polimeraza. Această enzimă este „indiferentă" faţă de secvenţă, care este determinată de lanţul preexistent. Cum s-a dovedit, de altfel, condensarea unor mononucleotide activată de catalizatori neenzimatici este efectiv dirijată de împerecherea lor spontană cu un polinucleotid preexistent [1]. Este, totuşi, sigur că dacă enzima nu

---

[1] L. Orgel, în „Journal of Molecular Biology", 38, 1968, p. 381—393.

determină secvența, ea contribuie la precizia copiei complementare, adică la fidelitatea transferului de informație. O fidelitate extremă, cum o dovedește experiența, dar care, fiind vorba de un proces microscopic, nu poate fi absolută. Este un aspect capital, la care vom reveni curînd.

*

* *

traducerea codului

Mecanismul de *traducere* a secvenței de nucleotide în secvență de aminoacizi este mult mai complicat, prin chiar principiul lui, decît cel de *replicare*. Acest din urmă proces se explică, în definitiv, cum am văzut, prin interacții stereospecifice directe între o secvență polinucleotidică servind de matriță și nucleotidele cu care se unește. În cazul traducerii transferul de informație este asigurat tot de interacții stereospecifice necovalente. Dar aceste interacții directoare cuprind mai multe etape succesive, punînd în joc mai mulți constituenți, fiecare dintre aceștia recunoscîndu-și exclusiv partenerul funcțional direct.

Constituenții care intervin la începutul acestui lanț de transfer de informație ignoră total „ce se întîmplă" la capătul celălalt. Astfel încît, deși codul genetic este scris într-un limbaj stereochimic, în care fiecare literă este alcătuită dintr-o secvență de trei nucleotide (un triplet) din ADN-ul care specifică un anume aminoacid (din douăzeci) în polipeptidă, totuși nu există nici o reacție sterică directă între tripletul codificant și aminoacidul codificat.

De aici rezultă o concluzie foarte importantă și anume că acest cod, universal în biosferă, pare sub raport chimic *arbitrar*, în sensul că transferul de informație ar putea foarte bine să aibă loc în baza unei *alte* convenții [1]. De altfel, se cunosc mutații care, alterînd structura anumitor componenți ai mecanismului de traducere, modifică implicit interpretarea anumitor triplete și comit, deci, (dacă ținem seama de convenția dominantă) erori care aduc prejudicii grave organismului.

Aspectul foarte mecanic și chiar „tehnologic" al procesului de traducere merită să fie subliniat. Inter-

---

[1] Vom reveni la acest aspect în capitolul 8.

acțiile succesive ale diferiților componenți implicați în fiecare etapă pentru a conduce la o polipeptidă în curs de asamblare, rest cu rest, la suprafața unui constituent (ribozomul) comparabil cu o mașină-unealtă care face să avanseze pas cu pas piesa prelucrată, toate acestea sugerează irezistibil imaginea unui șir de operații dintr-o uzină mecanică.

În ansamblu, în organismul normal, acest mecanism microscopic de precizie conferă procesului de translație o fidelitate remarcabilă. Fără îndoială, apar erori, dar ele sînt într-atît de rare, încît nu există nici o statistică aplicabilă la un asemenea nivel de frecvență normală medie. Codul fiind lipsit de ambiguitate (pentru traducerea ADN în proteine), rezultă că secvența de nucleotide dintr-un segment de ADN definește integral secvența de aminoacizi din polipeptida corespunzătoare. De altfel, întrucît, așa cum am văzut (capitolul 5), secvența polipeptidei determină integral (în condiții inițiale normale) structura pliată pe care aceasta o adoptă odată ce s-a constituit, „interpretarea" structurală, deci funcțională, a informației genetice este univocă, riguroasă. Nu este necesar și nici măcar, pare-se, posibil vreun aport suplimentar de informație (alta decît genetică), mecanismul — cum îl cunoaștem — nelăsînd loc pentru așa ceva. Iar în măsura în care toate structurile și performanțele organismelor sînt rezultanta structurilor și activităților proteinelor care le compun, trebuie să considerăm că organismul întreg constituie expresia epigenetică ultimă a mesajului genetic însuși.

ireversibilitatea traducerii

În sfîrșit, trebuie să adăugăm, iar acest aspect are o foarte mare importanță, că *mecanismul de traducere este strict ireversibil.* Nu s-a observat, de altfel nici nu este de conceput, ca „informația" să fie vreodată transferată în sens invers, adică de la proteină la ADN. Această concepție se bazează pe un ansamblu de observații atît de complete și de sigure astăzi, iar consecințele ei, mai ales în teoria evoluției, sînt atît de importante, încît ea trebuie să fie considerată unul din principiile fundamentale ale biologiei mo-

derne[1]. Rezultă, într-adevăr, că nu există un mecanism *posibil* prin care structura şi performanţele unei proteine să poată fi modificate şi prin care aceste modificări să fie transmise, fie şi parţial, descendenţilor, decît doar ca o consecinţă a unei alterări a instrucţiunilor reprezentate de un segment al secvenţei acidului dezoxiribonucleic (ADN). În timp ce, invers, nu există nici un mecanism imaginabil prin care o instrucţiune sau o informaţie oarecare ar putea să fie transferată acidului dezoxiribonucleic.

Prin urmare, sistemul, în întregul lui, este totalmente şi puternic conservator, închis în sine şi absolut incapabil să primească vreo instrucţiune, oricare şi de orice fel, din lumea exterioară. După cum se vede, acest sistem, prin proprietăţile lui, prin funcţionarea lui de ceas microscopic care stabileşte între ADN şi proteină, ca şi între organism şi mediu, relaţii în sens unic, sfidează orice descriere „dialectică". El este în fond cartezian şi nu hegelian: celula este, într-adevăr, *o maşină*.

S-ar părea, deci, că, prin însăşi structura lui, acest sistem trebuie să se opună oricărei schimbări, oricărei evoluţii. Nu încape îndoială că este aşa, iar aici găsim explicaţia[2] unui fapt într-adevăr mult mai paradoxal decît evoluţia însăşi, şi anume extraordinara stabilitate a anumitor specii, care au reuşit să se reproducă fără modificări apreciabile de sute de milioane de ani.

*

* *

Fizica ne învaţă însă că (în afara temperaturii de zero absolut, limită inaccesibilă) nici o entitate microscopică nu poate să nu sufere perturbaţii de ordin

---

[1] Unii critici (de exemplu Piaget) ai primei ediţii a lucrării de faţă au găsit, se pare, o mare satisfacţie în posibilitatea de a menţiona anumite rezultate recente în care credeau că văd o negare experimentală a acestei propoziţii. Era vorba de descoperirea de către Temin şi Baltimore a unor enzime dotate cu proprietatea de a transcrie ARN în ADN, adică în sensul opus celui al transcripţiei clasice. Aceste frumoase observaţii nu încalcă, de fapt, în nici un fel principiul că traducerea de informaţie secvenţială de la ADN la proteină este ireversibilă. Autorii acestei descoperiri, care sînt foarte distinşi specialişti în biologia moleculară, nu au tras niciodată din lucrările lor concluzia pe care Piaget, de exemplu, pare s-o deducă.

[2] Explicaţie parţială, vezi p. 107.

cuantic, a căror acumulare, într-un sistem macroscopic, îi va altera acestuia structura, treptat, dar inevitabil.

Fiinţele vii, cu toată perfecţiunea conservatoare a maşinăriei care asigură fidelitatea traducerii, nu se sustrag acestei legi, nu scapă acţiunii ei. Îmbătrînirea şi moartea organismelor pluricelulare se explică, cel puţin în parte, prin acumularea unor erori accidentale de traducere, care, alterînd mai ales anumite componente responsabile de fidelitatea traducerii însăşi, îşi măresc frecvenţa şi degradează puţin cîte puţin, inexorabil, structura acestor organisme [1].

perturbaţii microscopice

Mecanismul replicării n-ar putea nici el, fără violarea legilor fizicii, să se sustragă oricărei perturbaţii, oricărui accident. Măcar unele din aceste perturbaţii vor antrena modificări, mai mult sau mai puţin discrete, ale anumitor elemente de secvenţă. Este vorba de erori de transcripţie care, în virtutea fidelităţii oarbe a mecanismului, şi exceptînd eventualitatea altor perturbaţii, vor fi retranscrise automat. La fel de fidelă va fi traducerea lor într-o alterare a secvenţei de aminoacizi din polipeptida corespunzătoare segmentului de ADN în care se va fi produs *mutaţia*. Dar abia după plierea acestei polipeptide parţial noi se va dezvălui „semnificaţia" funcţională a mutaţiei.

Dintre cercetările biologice moderne, unele din cele mai frumoase prin metodologia lor şi a căror semnificaţie este din cele mai profunde constituie ceea ce se numeşte genetica moleculară (Benzer, Yanofsky, Brenner şi Crick). Aceste cercetări au permis, îndeosebi, analizarea diferitelor tipuri de alterări pe care le poate suferi o secvenţă de polinucleotide în dublul lanţ al ADN. Astfel au fost identificate diferite mutaţii ca urmare a:

1. substituirii unei singure perechi de nucleotide cu alta;

2. deleţiei sau inserţiei uneia sau mai multor perechi de nucleotide;

---

[1] Orgel, L.E., în „Proceedings of the National Academy of Science", 49, 1963, p. 517.

3. diferitelor tipuri de „masticuri" [1] care alterează textul genetic prin inversiune, repetiție, translocație și fuziune a unor segmente de secvență mai mult sau mai puțin lungi [2].

Spunem că aceste alterări sînt accidentale, că au loc la întîmplare. Și, întrucît ele constituie *singura* sursă posibilă de modificări ale textului genetic, la rîndul lui *singurul* depozitar al structurilor ereditare ale organismului, rezultă cu necesitate că la originea oricărei noutăți, a oricărei creații în biosferă se află *numai* întîmplarea, hazardul. Pura întîmplare, doar întîmplare, libertate absolută dar oarbă, chiar la rădăcina extraordinarului edificiu al evoluției: această noțiune centrală a biologiei moderne nu mai este astăzi o ipoteză printre altele posibile sau imaginabile. Ea este *singura* imaginabilă, fiind singura compatibilă cu datele observației și experimentului. Și nimic nu ne permite să presupunem (sau să sperăm) că va trebui sau va fi posibil să revizuim concepțiile noastre în această privință.

Această noțiune este, totodată, dintre toate noțiunile tuturor științelor, cea mai distrugătoare pentru orice antropocentrism, cea mai inacceptabilă intuitiv pentru ființele intens teleonomice care sîntem. Este, deci, noțiunea sau mai degrabă stafia pe care trebuie cu orice preț s-o exorcizeze toate ideologiile vitaliste și animiste. De aceea e foarte important să precizăm sensul exact în care poate și trebuie să fie folosit termenul de întîmplare, de hazard, cînd este vorba de mutații ca sursă a evoluției. Conținutul noțiunii de hazard nu este simplu, cuvîntul fiind folosit în situații foarte diferite. Cel mai bine, însă, este să dăm cîteva exemple.

Astfel, acest cuvînt este folosit referitor la jocul de zaruri sau la ruletă și se recurge la calculul probabilităților pentru a prevedea rezultatul unei partide. Dar aceste jocuri pur mecanice, și *macroscopice*, nu

---

[1] Metaforă în care „mastic"-ul este o soluție de lipit, care poate „lipi" diverse fragmente sau baze, schimbînd secvența nucleotidelor și, deci, informația. — *Nota trad.*
[2] Vezi Anexe, p. 160–161.

incertitudine operațională și incertitudine esențială

sînt „de noroc"[1] decît în virtutea imposibilității *practice* de a dirija cu precizie suficientă aruncarea zarului sau a bilei. Este evident că se poate concepe un mecanism de lansare de foarte mare precizie, care ar permite eliminarea în bună măsură a incertitudinii rezultatului. Să spunem că la ruletă incertitudinea este pur operațională, dar nu de esență. La fel este, cum se vede ușor, și în cazul teoriei a numeroase fenomene, unde noțiunea de șansă și calculul probabilităților se folosesc din motive pur metodologice.

În alte situații, însă, noțiunea de întîmplare, de hazard capătă o semnificație esențială și nu pur operațională. Este cazul, de exemplu, a ceea ce se poate numi „coincidențele absolute", cu alte cuvinte cele care rezultă din intersectarea a două lanțuri cauzale total independente unul de altul. Să presupunem, de pildă, că un medic este chemat de urgență să viziteze un nou bolnav, în timp ce un tinichigiu lucrează la repararea grabnică a acoperișului unui imobil vecin. Cînd doctorul trece prin dreptul imobilului, tinichigiul scapă din neatenție ciocanul, a cărui traiectorie (deterministă) se întîmplă să o intersecteze pe cea a medicului, care moare cu capul spart. Spunem că n-a avut șansă. Ce alt termen să folosești pentru un astfel de eveniment, imprevizibil prin însăși natura lui? Aici întîmplarea trebuie să fie considerată ca esențială, inerentă independenței totale a celor două serii de evenimente a căror întîlnire produce accidentul.

Or, între evenimentele care pot provoca sau permite o eroare în *replicarea* mesajului genetic și consecințele ei funcționale există, de asemenea, o independență totală. Efectul funcțional depinde de structură, de rolul jucat de proteina modificată, de interacțiile pe care le asigură, de reacțiile pe care le catalizează. Nimic din toate acestea nu are vreo legătură cu evenimentul mutațional însuși, nici cu cauzele lui imediate sau îndepărtate, indiferent, de altfel, de natura, deterministă sau nu, a acestor cauze.

Există, în sfîrșit, la scară microscopică, o sursă de incertitudine și mai radicală, înrădăcinată în struc-

[1] În limba franceză termenul „hasard" are, pe lîngă sensul de întîmplare, și sensul de noroc, șansă. — *Nota trad.*

tura cuantică a materiei însăşi. Or, o mutaţie este în sine un eveniment microscopic, cuantic, căruia, prin urmare, i se aplică principiul incertitudinii. Deci un eveniment *esenţialmente* imprevizibil prin însăşi natura lui.

După cum se ştie, principiul incertitudinii n-a fost niciodată pe deplin acceptat de unii din cei mai mari fizicieni moderni, începînd cu Einstein, care spunea că nu poate admite că Dumnezeu „dă cu zarul". Unele şcoli n-au vrut să vadă în acest principiu decît o noţiune pur operaţională, dar nu esenţială. Toate eforturile făcute pentru a înlocui teoria cuantică cu o structură mai „fină", din care incertitudinea să fi dispărut, s-au soldat, totuşi, cu eşecuri şi azi sînt, realmente, puţini fizicieni care par dispuşi să creadă că acest principiu va putea vreodată dispare din disciplina lor.

Oricum ar fi, trebuie subliniat că, chiar dacă principiul incertitudinii va trebui vreodată să fie abandonat, între determinismul unei mutaţii de secvenţă în ADN şi cel al efectelor ei funcţionale la nivelul interacţiilor proteinei nu se va putea vedea decît o „coincidenţă absolută" în sensul definit mai sus de parabola tinichigiului şi doctorului. Evenimentul va rămîne, deci, de domeniul întîmplării „esenţiale". Cu excepţia, bineînţeles, a unei reveniri la universul lui Laplace, din care hazardul este exclus prin definiţie şi în care doctorului îi era, dintotdeauna, predestinat să moară de ciocanul tinichigiului.

evoluţia: creaţie absolută şi nu revelare

Ne amintim că Bergson vedea în evoluţie expresia unei forţe creatoare *absolute*, în sensul că el nu o considera ca avînd alt scop decît creaţia în sine şi pentru sine. Prin aceasta el diferă radical de animişti (indiferent că este vorba de Engels, de Teilhard sau de pozitiviştii optimişti ca Spencer), care cu toţii văd în evoluţie desfăşurarea maiestuoasă a unui program înscris în însăşi trama Universului. Pentru ei, prin urmare, evoluţia nu este realmente creaţie, ci doar „revelare" a intenţiilor pînă atunci inexprimate ale naturii. De unde şi tendinţa de a vedea în dezvoltarea embrionului o emergenţă de acelaşi ordin cu emergenţa evolutivă. Conform teoriei moderne noţiunea de „revelare" se aplică dezvoltării epigenetice, dar nu, bineînţeles, şi emergenţei evolutive, care, tocmai datorită faptului

că-şi are originea în imprevizibilul esenţial, este creatoare de noutate *absolută*. Această convergenţă aparentă între căile filozofiei bergsoniene şi cele ale ştiinţei să fie oare şi ea efectul unei pure coincidenţe? Poate că nu; Bergson, ca artist şi poet, de altfel, foarte bine informat în domeniul ştiinţelor naturii din vremea sa, nu putea să nu fie sensibil la uluitoarea bogăţie a biosferei, la varietatea prodigioasă a formelor şi comportamentelor prezente în ea şi care par să ateste aproape direct o risipă creatoare inepuizabilă, liberă de orice constrîngere.

Dar acolo unde Bergson vedea dovada cea mai manifestă că „principiul vieţii" este evoluţia însăşi, biologia modernă, dimpotrivă, admite că toate proprietăţile fiinţelor vii se bazează pe un mecanism fundamental de *conservare moleculară*. Pentru teoria modernă *evoluţia nu este cîtuşi de puţin o proprietate a fiinţelor vii*, deoarece ea îşi are rădăcina în *înseşi imperfecţiunile* mecanismului de conservare, mecanism care, într-adevăr, constituie unicul lor privilegiu. Trebuie, deci, să spunem că aceeaşi sursă de perturbaţii, de „zgomot", care într-un sistem neviu, adică nereplicativ, ar distruge puţin cîte puţin întreaga structură, este la originea evoluţiei în biosferă şi explică întreaga ei libertate creatoare, datorită acestui păstrător al întîmplării, surd şi la muzică şi la zgomot, care este structura replicativă a ADN.

7
EVOLUȚIA

Evenimentele elementare inițiale care deschid calea evoluției acestor sisteme intens conservatoare întruchipate de ființele vii sînt microscopice, întîmplătoare și lipsite de orice legătură cu efectele pe care le pot antrena în funcționarea teleonomică.

Dar, odată înscris în structura ADN, accidentul singular și, ca atare, esențialmente imprevizibil, va fi în mod automat și fidel replicat și tradus, cu alte cuvinte, va fi totodată multiplicat și transpus în milioane și miliarde de exemplare. Ieșit din imperiul purei întîmplări, el intră în cel al necesității, al certitudinilor celor mai implacabile. Pentru că selecția operează la scară macroscopică, la scara organismului.

hazard și necesitate

Și azi, încă, numeroase spirite distinse par să nu poată accepta și nici înțelege că dintr-o sursă de zgomot selecția a putut, de una singură, să creeze toate orchestrele biosferei. Selecția acționează într-adevăr *asupra* produselor întîmplării și nu se poate alimenta de altundeva: dar ea operează într-un domeniu cu exigențe stricte din care hazardul este exclus. Din aceste exigențe, și nu din hazard, și-a luat evoluția orientările general ascendente, cuceririle ei succesive, înflorirea ordonată pe care pare s-o ilustreze.

Unii evoluționiști post-darwiniști au manifestat, de altfel, tendința să prezinte selecția naturală în viziunea sărăcită a unei cruzimi elementare, a purei „lupte pentru existență", expresie care nici măcar

nu-i aparţine lui Darwin, ci lui Spencer. Neodarwiniştii de la începutul secolului nostru au propus cu privire la selecţia naturală, dimpotrivă, o concepţie considerabil mai bogată şi au arătat, pe baza unor teorii cantitative, că factorul decisiv al selecţiei nu este „lupta pentru existenţă", ci, înăuntrul unei specii, rata diferenţială de reproducţie.

Datele biologiei contemporane permit clarificarea şi precizarea în continuare a noţiunii de selecţie. Noi avem, în special despre forţa, complexitatea şi coerenţa reţelei cibernetice intracelulare (chiar şi la organismele cele mai simple) o idee destul de clară, anterior absentă, care ne permite să înţelegem mult mai bine ca înainte că orice „noutate", sub forma unei alterări a structurii unei proteine, va fi testată în primul rînd sub raportul compatibilităţii ei cu ansamblul unui sistem deja închegat prin nenumărate subordonări care comandă executarea proiectului organismului. Singurele mutaţii acceptabile sînt, deci, cele care măcar nu micşorează coerenţa aparatului teleonomic, ci, mai degrabă, o întăresc şi mai mult în direcţia deja adoptată sau — fără îndoială mult mai rar — o îmbogăţesc cu noi posibilităţi.

Aparatul teleonomic, aşa cum funcţionează el cînd se manifestă pentru prima oară o mutaţie, este cel care defineşte *condiţiile iniţiale* esenţiale ale admiterii, temporare ori definitive, sau ale respingerii tentativei născute din întîmplare. Performanţa teleonomică, expresia globală a proprietăţilor reţelei de interacţii constructive şi reglatorii, este cea pe care o judecă selecţia şi în virtutea acestui fapt evoluţia însăşi pare să înfăptuiască un „proiect", cel de a continua şi amplifica un „vis" ancestral.

Datorită perfecţiunii conservatoare a aparatului replicativ, orice mutaţie, considerată individual, este un eveniment foarte rar. În cazul bacteriilor, singurele organisme pentru care există date numeroase şi precise pe această temă, se poate admite că probabilitatea, pentru o genă dată, de a suferi o mutaţie care

bogăţia sursei de hazard

alterează sensibil proprietăţile funcţionale ale proteinei corespunzătoare este de ordinul 10^{-6}—10^{-8} per generaţie celulară. În cîţiva mililitri de apă se poate dezvolta, însă, o populaţie de cîteva miliarde de ce-

lule. Într-o astfel de populație, cu certitudine, orice mutație dată este prezentă la 10, 100 sau 1 000 de exemplare. Se poate, de asemenea, estima că numărul total de mutanți de orice fel din această populație este de ordinul a 10^5—10^6.

Prin urmare, la scara populației mutația nu este nicidecum un fenomen de excepție: ea este regula. Or, presiunea de selecție se exercită la nivelul populației, nu la cel al indivizilor izolați. Ce-i drept, populațiile de organisme superioare nu ating dimensiunile populațiilor bacteriene, dar:

1. genomul unui organism superior, de exemplu al unui mamifer, conține de o mie de ori mai multe gene decît genomul unei bacterii;

2. numărul de generații *celulare*, deci de șanse de mutații, în linia germinală de la ovul la ovul sau de la spermatozoid la spermatozoid, este foarte mare.

Poate că aceasta și explică faptul că rata anumitor mutații la om pare să fie relativ mare: de ordinul a 10^{-4}—10^{-5}, de exemplu, pentru un număr de mutații care provoacă boli genetice ușor detectabile. Și trebuie să menționăm că cifrele date de noi nu țin cont de mutațiile nedecelabile individual, dar care asociate prin recombinare sexuală pot avea efecte palpabile. Probabil că astfel de mutații au avut mai multă importanță în evoluție decît cele ale căror efecte individuale sînt mai marcante.

În ansamblu, se poate estima că în populația umană actuală (3×10^9) se produc la fiecare generație aproximativ 100—1 000 de miliarde de mutații. Menționez această cifră numai pentru a da o idee despre dimensiunile imensului rezervor de variabilitate întîmplătoare pe care-l constituie genomul unei specii, în ciuda, repet, proprietăților intens conservatoare ale mecanismului replicativ.

Ținînd cont de dimensiunile acestei uriașe loterii și de viteza cu care joacă la ea natura, cea care pare greu explicabilă, dacă nu cvasiparadoxală, nu mai este evoluția, ci, dimpotrivă, stabilitatea „formelor" din biosferă. Se știe că planurile de organizare corespunzătoare principalelor încrengături ale regnului animal erau diferențiate încă la sfîrșitul cambrianului, adică cu 500 de milioane de ani în urmă. Se

„paradoxul" stabilității speciilor

ştie, de asemenea, că anumite specii nu au evoluat simţitor de sute de milioane de ani. Lingula, de exemplu, de 450 de milioane de ani; cît priveşte stridia de acum 150 de milioane de ani, ea avea aceeaşi înfăţişare şi, fără îndoială, aceeaşi savoare cu cea servită în restaurante în zilele noastre [1]. În sfîrşit, se poate aprecia că celula „modernă", caracterizată prin planul ei invariant de organizare chimică (începînd cu structura codului genetic şi complicatul mecanism de traducere), este, fără îndoială, încă de acum 2—3 miliarde de ani înzestrată cu puternice reţele cibernetice moleculare care să-i asigure coerenţa funcţională.

Extraordinara stabilitate a anumitor specii, miliardele de ani pe care se întinde evoluţia, invarianţa „planului" chimic fundamental al celulei nu pot fi evident explicate decît prin extrema coerenţă a sistemului teleonomic, care, în procesul evoluţiei, a jucat, simultan, rolul de ghid şi de frînă şi n-a reţinut, amplificat, integrat, decît o infimă fracţie din şansele pe care i le-a oferit, în număr astronomic, ruleta naturii.

În ceea ce priveşte sistemul replicativ, el, departe de a fi în stare să elimine perturbaţiile microscopice cărora le este inevitabil supus, dimpotrivă, nu poate decît să le înregistreze şi să le ofere, aproape întotdeauna zadarnic, filtrului teleonomic, ale cărui performanţe sînt judecate, în ultimă instanţă, de selecţie.

*

* *

O mutaţie simplă, punctiformă, ca substituirea unei litere a codului de către alta în ADN, este ireversibilă. Teoria prevede acest lucru, iar experienţa îl confirmă. Dar orice evoluţie sesizabilă, cum ar fi diferenţierea a două specii, chiar foarte apropiate, rezultă dintr-un mare număr de mutaţii independente, acumulate succesiv în specia iniţială, apoi recombinate — totdeauna întîmplător — datorită „fluxului genetic" promovat de sexualitate. În virtutea numărului

[1] Simpson, „The Meaning of Evolution", Yale University Press, 1967.

de evenimente independente din care rezultă, un astfel de fenomen este statistic ireversibil.

Evoluția în biosferă este, deci, un proces necesarmente ireversibil, care *definește o direcție în timp, aceeași* cu direcția pe care o impune legea creșterii entropiei, adică principiul al doilea al termodinamicii. Este mai mult decît o simplă comparație. Principiul al doilea se bazează pe considerente statistice *identice* cu cele care stabilesc ireversibilitatea evoluției. De fapt, *este legitim să considerăm ireversibilitatea evoluției ca o expresie a celui de-al doilea principiu în biosferă.* Principiul al doilea, neformulînd decît o predicție statistică, nu exclude, desigur, ca un sistem macroscopic oarecare să poată, într-o mișcare de foarte mică amplitudine și pentru o durată foarte scurtă, să urce înapoi panta entropiei, adică, oarecum, să se întoarcă în timp. La ființele vii, tocmai aceste mișcări unice și fugitive, captate și reproduse de mecanismul replicativ, au fost reținute de selecție. În acest sens, evoluția selectivă, bazată pe alegerea incidențelor rare și prețioase, conținute și ele — printre infinit de multe altele — în imensul rezervor al hazardului microscopic, constituie un fel de mașină pentru întoarcerea timpului.

ireversibilitatea evoluției și principiul al doilea

Nu este surprinzător, ci, dimpotrivă, întru totul firesc, că rezultatele obținute de acest mecanism pentru întoarcerea timpului — tendința generală ascendentă a evoluției, perfecționarea și îmbogățirea aparatului teleonomic — li s-au părut miraculoase unora, paradoxale altora și că teoria modernă „darwinisto-moleculară" a evoluției este privită cu suspiciune de unii gînditori, filozofi sau, chiar, biologi.

Acest lucru provine, măcar în parte, din extrema dificultate de a concepe bogăția inepuizabilă a izvorului de hazard din care soarbe selecția. Această bogăție își găsește, totuși, o ilustrare remarcabilă în sistemul de apărare a organismului prin anticorpi. Anticorpii sînt proteine dotate cu proprietatea de a recunoaște prin legare stereospecifică substanțe străine organismului și care l-au invadat, de exemplu, bacterii sau virusuri. După cum se știe, însă, anticorpul — care recunoaște selectiv o substanță dată, de exemplu un „motiv steric" propriu unei anumite specii bacteriene — nu apare în organism (pentru a rămîne

originea anticorpilor

în el un anumit timp) decît după ce acesta a avut, fie și o singură dată, „experiența" ei (prin vaccinare, spontană sau artificială). De altfel, s-a demonstrat că organismul este capabil să formeze anticorpi adaptați la, practic, orice motiv steric, natural sau sintetic. Potențialitățile, în această privință par, practic, infinite.

Ca urmare, multă vreme s-a presupus că sursa de informație pentru sinteza structurii situsului specific al anticorpului era antigenul însuși. Or, astăzi este stabilit că structura anticorpului nu datorează nimic antigenului: în organism, celulele specializate, produse în număr mare, au proprietatea — unică — de a „miza la ruletă" pe o parte, bine definită, a segmentelor genetice care determină structura anticorpilor. Modul exact de funcționare al acestei rulete genetice specializate și ultrarapide încă nu este elucidat pe deplin: este verosimil, totuși, că intervin atît recombinări, cît și mutații, și unele și celelalte producîndu-se, în orice caz, la întîmplare, cu ignorarea totală a structurii antigenului. Acesta, în schimb, joacă rolul de selector, favorizînd diferențiat multiplicarea acelor celule care se întîmplă să producă un anticorp capabil să-l recunoască.

Este, într-adevăr, remarcabil că la baza unuia din fenomenele de adaptare moleculară cele mai precise care se cunosc găsim o sursă supusă întîmplării. Este, însă, clar *(a posteriori)* că numai o astfel de sursă putea să fie destul de bogată pentru a-i oferi organismului mijloace de apărare oarecum în toate direcțiile.

* * *

comportamentul și orientarea presiunilor de selecție

O altă dificultate pentru teoria selecției provine din faptul că ea a fost prea des înțeleasă sau prezentată ca invocînd numai condițiile *mediului exterior* drept agenți ai selecției. Concepția aceasta este total eronată, deoarece presiunile de selecție pe care le exercită asupra organismelor condițiile externe nu sînt în nici un caz independente de performanțele teleonomice caracteristice speciei. Între diferitele organisme care trăiesc în aceeași „nișă" ecologică și condițiile externe (inclusiv celelalte organisme) există interacțiuni foarte diferite și specifice. Tocmai aceste interacțiuni specifice, în parte „alese" chiar de organisme, determină natura

și orientarea presiunii de selecție pe care o suferă. Așadar, „condițiile inițiale" de selecție pe care le întîmpină o mutație nouă cuprind simultan și în mod indisolubil mediul exterior și ansamblul structurilor și performanțelor aparatului teleonomic.

Este evident că rolul performanțelor teleonomice în orientarea selecției devine tot mai mare o dată cu creșterea gradului de organizare, deci de *autonomie*, a organismului față de mediu. Iar acest lucru se produce în asemenea măsură încît se poate fără îndoială considera că rolul respectiv devine hotărîtor în cazul organismelor superioare, la care supraviețuirea și reproducția depind înainte de toate de comportamentul lor.

De asemenea, este evident că alegerea inițială a cutărui sau cutărui comportament va putea adesea să aibă o influență cu bătaie lungă, nu numai pentru specia în care se va fi manifestat într-o formă rudimentară pentru prima oară, ci în toată descendența acesteia, fie ea și un întreg grup. După cum se știe, marile articulații ale evoluției s-au datorat invadării unor spații ecologice noi. Dacă vertebratele tetrapode au apărut și au putut să dea minunata dezvoltare pe care o reprezintă amfibienii, reptilele, păsările și mamiferele, este pentru că, inițial, un pește primitiv a „ales" să exploreze pămîntul, pe care nu putea, totuși, să se deplaseze decît prin salturi neîndemînatice. El crea, astfel, ca o consecință a unei modificări de comportament, presiunea de selecție care avea să dezvolte membrele puternice ale tetrapodelor. Dintre descendenții acestui explorator curajos, adevărat Magellan al evoluției, unii pot alerga cu o viteză de peste 70 km pe oră, alții se cațără în copaci cu o agilitate uluitoare, alții, în sfîrșit, au cucerit aerul, împlinind, ducînd mai departe, amplificînd într-un mod extraordinar „visul" peștelui ancestral.

Faptul că în evoluția anumitor grupuri se observă o tendință generală, menținută milioane de ani, de dezvoltare aparent orientată a anumitor organe, dovedește că alegerea inițială a unui anumit tip de comportament (de exemplu față de agresiunea unui răpitor) angajează specia pe calea unei perfecționări continue a structurilor și performanțelor care constituie suportul respectivului comportament. Tocmai pentru că

strămoşii calului au preferat devreme să trăiască în cîmpie şi să fugă la apariţia unui răpitor (decît să încerce să se apere sau să se ascundă) specia modernă, în urma unei evoluţii îndelungi cuprinzînd numeroase stadii de reducere, calcă astăzi pe vîrful unui singur deget.

Se ştie că anumite comportamente foarte precise şi complexe, cum ar fi ritualul prenupţial al păsărilor, sînt strîns asociate unor caracteristici morfologice deosebit de vizibile. Este sigur că evoluţia unui astfel de comportament şi cea a caracterului anatomic pe care se bazează au avut loc coordonat, ele antrenîndu-se şi consolidîndu-se reciproc sub presiunea selecţiei naturale. De cînd începe să se dezvolte la o specie, orice podoabă asociată cu reuşita împerecherii nu face decît să întărească, să confirme presiunea de selecţie iniţială, şi, prin urmare, favorizează orice perfecţionare a acestei podoabe. Este, deci, îndreptăţită afirmaţia că la urma urmei, instinctul sexual sau, cu alte cuvinte, *dorinţa* a creat condiţiile de selecţie a anumitor penaje magnifice [1].

Lamarck considera că însăşi tensiunea eforturilor depuse de un animal pentru „a reuşi în viaţă" acţiona, într-un fel, asupra patrimoniului lui ereditar, încorporîndu-se în el şi modelîndu-i direct urmaşii. Gîtul imens al girafei ar exprima voinţa constantă pe care au avut-o strămoşii ei de a ajunge la ramurile cele mai înalte ale arborilor. Este o ipoteză azi inacceptabilă, bineînţeles, dar vedem că selecţia însăşi, acţionînd asupra elementelor comportamentului, ajunge la rezultatul pe care Lamarck voia să-l explice: asocierea strînsă între adaptări anatomice şi performanţe specifice.

*

* *

Aceştia sînt termenii în care trebuie să fie concepută problema presiunilor de selecţie care au orientat evoluţia omului. Este o problemă de un interes excepţional, chiar independent de faptul că este vorba de noi şi că, discernîndu-i mai clar rădăcinile în cursul evoluţiei fiinţei noastre, s-ar putea să ajungem să-i

---

[1] Cf. N. Tinbergen, „Social Behavior in Animals", Methuen, Londra, 1953.

înţelegem mai bine natura actuală. Căci un observator imparţial, de exemplu un extraterestru, ar trebui să recunoască fără îndoială că apariţia performanţei specifice a omului, limbajul simbolic, eveniment unic în biosferă, a deschis calea unei *alte* evoluţii, creatoare a unui nou regn, cel al culturii, al ideilor, al cunoaşterii.

Eveniment unic: lingviştii moderni au insistat asupra faptului că limbajul simbolic al omului este absolut ireductibil la mijloacele de comunicare foarte diverse (auditive, tactile, vizuale sau altele) folosite de animale. Este o poziţie, fără îndoială, justificată. Dar de aici şi pînă la afirmaţia că discontinuitatea în evoluţie a fost absolută, că limbajul uman *de la bun început* nu datora absolut nimic, de exemplu, unui sistem de apeluri şi avertismente diverse, cum sînt cele pe care le schimbă între ele maimuţele mari, este un pas după mine greu de făcut, în orice caz o ipoteză inutilă.

limbajul şi evoluţia omului

Creierul animalelor este, neîndoielnic, capabil nu numai să înregistreze informaţii, ci şi să le asocieze, să le prelucreze şi să restituie rezultatul acestor operaţii sub forma unei performanţe individuale; dar nu sub o formă care permite să se comunice altui individ o asociere sau o prelucrare originală, personală, ceea ce constituie aspectul esenţial al problemei. Este ceea ce, dimpotrivă, permite limbajul uman, care poate fi considerat, prin definiţie, născut din ziua în care a fost posibil ca asocieri *noi*, combinaţii creatoare realizate de un individ să fie transmise altora şi să nu mai piară odată cu el.

Nu se cunosc limbi primitive: la toate rasele speciei noastre moderne unice instrumentul simbolic a ajuns la acelaşi nivel de complexitate şi aceeaşi capacitate de comunicare. De altfel, după Chomsky, structura profundă, „forma" tuturor limbilor umane ar fi aceeaşi. Performanţele extraordinare pe care limba le reprezintă şi, totodată, le permite sînt legate de dezvoltarea considerabilă a sistemului nervos central la *Homo sapiens*, dezvoltare care, de altfel, constituie trăsătura lui anatomică cea mai distinctivă.

Se poate afirma azi că evoluţia omului, de la cei mai îndepărtaţi strămoşi cunoscuţi ai lui, s-a efectuat,

mai ales, în direcția dezvoltării progresive a cutiei craniene, deci a creierului. A fost nevoie pentru aceasta de o presiune de selecție orientată, continuă și susținută de peste două milioane de ani. O presiune de selecție considerabilă — deoarece această durată este relativ mică — și *specifică*, deoarece nu se observă nimic asemănător la nici o altă specie: la maimuțele antropoide moderne capacitatea cutiei craniene este la fel de mare ca la strămoșii lor din urmă cu cîteva milioane de ani.

Este imposibil să nu presupui că între evoluția privilegiată a sistemului nervos central al omului și cea a performanței unice care-l caracterizează trebuie să fi existat o legătură foarte strînsă, în virtutea căreia limbajul a devenit nu numai produsul, ci și una din condițiile inițiale ale acestei evoluții.

Ipoteza care mi se pare cea mai verosimilă este că, apărută foarte devreme la ascendenții noștri, comunicarea simbolică cea mai rudimentară, prin posibilitățile radical noi pe care le oferea, a constituit una din acele „alegeri" inițiale care angajează viitorul speciei creînd o presiune de selecție nouă. Această selecție avea să favorizeze dezvoltarea performanței vorbirii înseși și, în consecință, dezvoltarea organului care o servește, a creierului. După părerea mea, în favoarea acestei ipoteze există argumente destul de puternice.

Hominizii autentici, cei mai vechi cunoscuți azi (australopitecii, pe care Leroi-Gourhan, pe bună dreptate, preferă să-i numească „australantropi") posedau deja — de altfel, tocmai aceasta îi definește — caracteristicile care-l deosebesc pe om de verii lui cei mai apropiați, pongidele (adică maimuțele antropoide). Australantropii adoptaseră stațiunea bipedă, legată nu numai de o specializare a piciorului, ci și de numeroase modificări ale scheletului și ale musculaturii, mai ales ale coloanei vertebrale și ale poziției capului în raport cu ea. S-a insistat deseori asupra importanței pe care trebuie s-o fi avut, în evoluția omului, eliberarea de servituțile mersului în patru labe practicat de toate antropoidele, cu excepția gibonului. Această invenție foarte veche (anterioară australantropului) a avut, fără îndoială, o importanță extremă: numai

ea le putea permite strămoşilor noştri să devină nişte vînători capabili să-şi folosească membrele anterioare fără a se opri din mers sau fugă.

Capacitatea craniană a acestor hominizi primitivi era, totuşi, doar cu puţin superioară celei a unui cimpanzeu şi uşor inferioară celei a unei gorile. Greutatea creierului nu este, în mod sigur, proporţională cu performaţele lui. Fără îndoială, însă, că le impune o limită şi că *Homo sapiens* nu putea să apară decît graţie dezvoltării cutiei sale craniene.

Oricum ar fi, pare stabilit că dacă creierul Zinjantropului nu cîntărea mai mult decît acel al gorilei, el era capabil de performanţe necunoscute pongidelor: într-adevăr, Zinjantropul avea o industrie, la drept vorbind, atît de primitivă încît „uneltele" lui nu sînt recognoscibile ca artefacte decît prin repetarea aceloraşi structuri grosolane şi prin gruparea lor în jurul unor schelete fosile. Maimuţele mari recurg la „unelte" naturale, pietre sau crengi, cînd li se iveşte ocazia, dar nu produc nimic comparabil cu artefactele lucrate după o *normă* recognoscibilă.

Astfel, Zinjantropul trebuie considerat un *Homo faber* foarte primitiv. Or, pare foarte verosimil că între dezvoltarea limbajului şi cea a unei industrii care dovedeşte o activitate proiectivă şi disciplinată trebuie să fi existat o corelaţie foarte strînsă [1]. Pare, deci, rezonabil să presupunem că australantropii aveau un instrument de comunicare simbolică pe măsura industriei lor rudimentare. Între altele, dacă este adevărat, cum crede Dart [2], că australantropii vînau cu succes şi animale puternice şi primejdioase ca rinoceri, hipopotami şi pantere, trebuie ca aceasta să fi fost o performanţă convenită dinainte de un grup de vînători. Deci, un proiect a cărui formulare prealabilă cerea folosirea unui limbaj.

Acestei ipoteze pare să i se opună volumul mic al creierului australantropilor. Experienţe făcute recent cu un cimpanzeu tînăr par să demonstreze, însă, că

---

[1] Leroi-Gourhan, „Le Geste et la Parole", Albin Michel, 1964; R.L. Holloway, în „Current Anthropology", 10, 395, 1969; J. Bronowsky, în „To honor Roman Jakobson", Mouton, Paris, 1967, p. 374.

[2] Citat după Leroi-Gourhan, *loc. cit.*

dacă maimuţele sînt incapabile să înveţe limbajul articulat, ele pot să asimileze şi să folosească unele elemente din limbajul simbolic al surdo-muţilor [1]. Este admisibil, în acest caz, să presupunem că dobîndirea capacităţii de simbolizare articulată a putut să depindă de modificări neuromotorii, nu în mod necesar foarte complexe, la un animal care, în acest stadiu, nu era mai inteligent decît un cimpanzeu actual.

Este, însă, evident că o dată făcut acest pas, folosirea unui limbaj, oricît de primitiv, nu putea să nu amplifice în proporţii considerabile valoarea de supravieţuire a inteligenţei şi, deci, să creeze în favoarea dezvoltării creierului o presiune de selecţie puternică şi orientată, pe care nici o specie afazică n-o putea cunoaşte vreodată. De îndată ce a existat un sistem de comunicare simbolică, indivizii sau, mai degrabă, grupurile cele mai bine dotate pentru folosirea lui, au dobîndit asupra celorlalţi un avantaj incomparabil mai mare decît cel pe care l-ar fi conferit o aceeaşi superioritate a inteligenţei, unor indivizi dintr-o specie lipsită de limbaj. Se vede, de asemenea, că presiunea de selecţie datorată folosirii unui limbaj trebuia să favorizeze în mod special evoluţia sistemului nervos central în direcţia unei inteligenţe de un anumit tip: acela care era cel mai apt să exploateze această performanţă particulară, specifică, rezervor de imense puteri.

Ipoteza de mai sus n-ar avea în favoarea ei decît faptul că este atrăgătoare şi raţională, dacă n-ar fi, de asemenea, cerută de anumite date referitoare la limbajul actual. Studierea însuşirii limbajului de către copil sugerează în mod irezistibil [2] că, dacă acest proces ni se pare miraculos, este pentru că el, prin natura lui, diferă profund de învăţarea ordonată a unui sistem de reguli formale. Copilul nu învaţă nici o regulă şi nu caută cîtuşi de puţin să imite limbajul adulţilor. S-ar putea spune că el ia din acesta ceea ce-i convine în fiecare stadiu al dezvoltării sale. La

Însuşirea primară a limbajului

[1] B.T. Gardner şi R.A. Gardner, în „Behavior of non-human Primates", Schrier and Stolnitz Eds. Academic Press, New York, 1970.

[2] E. Lenneberg, „Biological Foundations of Language", Wiley, New York, 1967.

început (spre 18 luni) copilul poate avea un bagaj de vreo zece cuvinte pe care le foloseşte întotdeauna izolat, fără a le asocia vreodată, nici măcar prin imitaţie. Mai tîrziu asociază cuvintele cîte două, cîte trei etc., după o sintaxă care nu este nici ea o simplă repetare sau imitaţie a limbajului adulţilor. Se pare că acest proces este universal şi că cronologia lui este aceeaşi pentru toate limbile. Uşurinţa cu care în doi-trei ani (după primul an) acest joc al copilului cu limba îi aduce stăpînirea ei i se pare întotdeauna de necrezut observatorului adult.

De aceea e greu să nu vedem aici reflexul unui proces embriologic, epigenetic, în cursul căruia se dezvoltă structuri neurale subiacente performanţelor vorbirii. Această ipoteză este confirmată de observaţii asupra afaziilor de origine traumatică. Survenite la copil, aceste afazii regresează cu atît mai repede şi mai deplin cu cît copilul este mai mic. Leziunile devin, în schimb, ireversibile cînd se produc în preajma pubertăţii sau mai tîrziu. Un întreg ansamblu de observaţii, pe lîngă acestea, confirmă că există o vîrstă critică pentru însuşirea spontană a limbajului. După cum ştie oricine, a învăţa o a doua limbă la vîrsta maturităţii cere un efort de voinţă sistematic şi susţinut. Statutul limbii învăţate astfel rămîne, practic, întotdeauna inferior celui al limbii natale, însuşite spontan.

Însuşirea limbajului este programată în dezvoltarea epigenetică a creierului

Ideea că însuşirea primară a limbajului este legată de un proces de dezvoltare epigenetică este confirmată de datele anatomice. Se ştie, într-adevăr, că maturarea creierului continuă după naştere, pentru a se încheia odată cu pubertatea. Această dezvoltare pare să constea, esenţialmente, într-o îmbogăţire considerabilă a interconexiunilor neuronilor corticali. Procesul, foarte rapid în cursul primilor doi ani, încetineşte apoi. El nu continuă (vizibil) dincolo de pubertate şi acoperă, în consecinţă, „perioada critică“ în cursul căreia este posibilă însuşirea primară [1].

De aici şi pînă la a gîndi că dacă, la copil, însuşirea limbajului pare atît de miraculos de spontană se datoreşte faptului că acesta se înscrie în însăşi trama unei

[1] Lenneberg, *loc. cit.*

dezvoltări epigenetice *care are drept una din funcții tocmai aceea de a-l asimila*, nu este decît un pas pe care, în ceea ce mă privește, nu ezit să-l fac. Să încerc să fiu puțin mai precis: de această creștere postnatală a cortexului depinde, fără îndoială, dezvoltarea funcției cognitive însăși. Tocmai însușirea limbajului chiar în cursul acestei epigeneze ar permite legarea lui de funcția cognitivă și încă într-un mod atît de intim încît ne este foarte greu să disociem, prin introspecție, performanța limbajului de cunoașterea pe care o explicitează.

Se admite, în general, că limbajul nu constituie decît o „suprastructură", ceea ce el pare, bineînțeles, datorită extremei diversități a limbilor umane, produse ale celei de-a doua evoluții, aceea a culturii.

Totuși, este evident că amploarea și rafinamentul pe care-l au la *Homo sapiens* funcțiile cognitive nu-și găsesc rațiunea de a fi decît în și prin limbaj. Private de acest instrument, ele sînt în cea mai mare parte inutilizabile, paralizate. În acest sens, capacitatea de a vorbi nu mai poate fi considerată o suprastructură. Trebuie să admitem că între funcțiile cognitive și limbajul simbolic pe care-l cheamă și prin care se explicitează există, la omul modern, o strînsă simbioză, care nu poate fi decît produsul unei îndelungate evoluții comune.

Se știe că, după Chomsky și școala lui, sub extrema diversitate a limbilor umane, analiza lingvistică aprofundată dezvăluie o „formă" comună tuturor acestor limbi. După Chomsky, această formă trebuie, deci, să fie considerată *înnăscută* și caracteristică speciei. Această concepție i-a scandalizat pe unii filozofi sau antropologi care văd în ea o revenire la metafizica lui Descartes. Cu condiția de a accepta conținutul biologic pe care-l implică, această concepție nu mă șochează cîtuși de puțin. Ea, dimpotrivă, mi se pare firească de îndată ce admiți că nu se putea ca evoluția structurilor corticale ale omului să nu fie influențată, în bună măsură, de o capacitate lingvistică dobîndită foarte timpuriu la vîrsta cea mai fragedă. Ceea ce echivalează cu a admite că limbajul articulat, la apariția lui pe filiera umană, nu numai că a permis evoluția culturii, ci și a contribuit într-un mod decisiv la

evoluția fizică a omului. Dacă a fost într-adevăr așa, capacitatea de a vorbi care se dezvăluie în cursul dezvoltării epigenetice a creierului face astăzi parte din „natura umană", ea însăși definită în genom, în limbajul radical diferit al codului genetic. Miracol? Desigur, pentru că în ultimă analiză este vorba de un produs al hazardului. Dar în ziua cînd Zinjantropul sau unul din camarazii lui a folosit pentru prima oară un simbol articulat ca să desemneze o categorie, el a mărit în proporții imense probabilitatea ca într-o zi să apară un creier capabil să conceapă teoria darwinistă a evoluției.

8
GRANIȚELE

Cînd te gîndești la drumul imens pe care l-a parcurs evoluția de, poate, trei miliarde de ani, la uluitoarea bogăție a structurilor create de ea, la miraculoasa eficacitate a performanțelor ființelor vii, de la bacterie la om, poți într-adevăr să te îndoiești că toate acestea ar fi rezultatul unei uriașe loterii, din ale cărei numere trase la întîmplare o selecție oarbă a desemnat rari cîștigători.

granițele actuale ale cunoașterii biologice

Revăzînd în amănunțime dovezile acumulate că această concepție este, într-adevăr, singura compatibilă cu faptele (mai ales cu mecanismele moleculare ale replicării, mutației și traducerii), îți regăsești siguranța, dar nu și o înțelegere imediată, sintetică și intuitivă a evoluției în ansamblul ei. Miracolul este „explicat", dar el ne pare și mai miraculos. Cum scrie Mauriac: „Ceea ce spune profesorul este și mai incredibil decît ceea ce credem noi, sărmani credincioși".

Este adevărat, cum adevărat este că nu-ți poți face o imagine mentală satisfăcătoare a unor abstracții ale fizicii moderne. Știm, însă, că astfel de dificultăți nu pot fi luate ca argument împotriva unei teorii care are de partea ei certitudini ale experienței și ale logicii. În cazul fizicii, microscopice sau cosmologice, vedem cauza neînțelegerii intuitive: scara fenomenelor avute în vedere transcende categoriile experienței noastre imediate. Numai abstracția poate să compenseze această infirmitate, dar fără s-o vindece. În cazul biologiei, dificultatea este de alt ordin. Interacțiile

elementare pe care se bazează totul sînt ușor intuibile datorită caracterului lor mecanicist. Ceea ce sfidează orice reprezentare intuitivă globală este fenomenala complexitate a sistemelor vii. În biologie, ca și în fizică, aceste dificultăți subiective nu constituie nici un fel de argument împotriva teoriei.

Se poate spune astăzi că mecanismele elementare ale evoluției sînt nu numai înțelese în principiu, ci și identificate cu precizie. Soluția găsită este cu atît mai satisfăcătoare cu cît este vorba de mecanisme care asigură stabilitatea speciilor: invarianța replicativă a ADN, coerența teleonomică a organismelor.

Cu toate acestea, evoluția rămîne, în biologie, noțiunea centrală menită să se îmbogățească și să se precizeze încă multă vreme. În ceea ce privește, însă, esențialul, problema este rezolvată și evoluția nu mai este un tărîm necunoscut situat la granițele cunoașterii. În ceea ce mă privește, eu văd aceste granițe la cele două extremități ale evoluției: originea primelor sisteme vii, de o parte, iar de cealaltă funcționarea sistemului celui mai intens teleonomic apărut vreodată, vreau să spun, sistemul nervos central al omului. În capitolul de față aș vrea să încerc să delimitez cele două granițe ale necunoscutului.

*

*　　　*

S-ar putea crede că descoperirea mecanismelor universale pe care se bazează proprietățile esențiale ale ființelor vii a deschis drumul spre rezolvarea problemei originilor. De fapt, aceste descoperiri, înnoind aproape întreaga problemă pusă astăzi în termeni mult mai preciși, au dezvăluit că ea este și mai dificilă decît părea înainte.

Se pot defini *a priori* trei etape în procesul care a putut să ducă la apariția primelor organisme:

a) formarea pe Pămînt a constituenților chimici esențiali ai ființelor vii, nucleotide și aminoacizi; **problema originilor**

b) formarea, pornind de la aceste materiale, a primelor macromolecule capabile de replicare;

c) evoluția, care a construit în jurul acestor „structuri replicative" un aparat teleonomic, ajungînd la celula primitivă.

Fiecare din aceste etape pune probleme diferite de interpretare a ei.

Prima, deseori numită faza „prebiotică", este destul de larg accesibilă, nu numai teoriei, ci și experimentului. Chiar dacă rămîne — și, fără îndoială, va rămîne — o incertitudine în privința căilor pe care le-a urmat, de fapt, evoluția chimică prebiotică, tabloul de ansamblu pare destul de clar. Condițiile atmosferei și scoarței terestre din urmă cu patru miliarde de ani erau favorabile acumulării anumitor compuși simpli ai carbonului, ca metanul. Exista, de asemenea, apă și amoniac. Or, din acești compuși simpli și în prezența unor catalizatori nebiologici se obțin, destul de ușor, numeroase substanțe mai complexe, printre care figurează aminoacizi și precursori ai nucleotidelor (baze azotate, zaharuri). Este remarcabil faptul că, în anumite condiții, a căror întrunire pare foarte plauzibilă, aceste sinteze au un randament foarte mare de substanțe identice sau analoge cu constituenții celulei moderne.

Se poate, deci, considera *dovedit* că la un moment dat, pe Pămînt, anumite întinderi de apă *puteau* să conțină în soluție concentrații mari ale constituenților esențiali ai celor două clase de macromolecule biologice, acizii nucleici și proteinele. În această „supă prebiotică" se puteau forma diverse macromolecule prin polimerizarea precursorilor lor, aminoacizii și nucleotidele. Într-adevăr, s-au obținut în laborator, în condiții „plauzibile", polipeptide și polinucleotide asemănătoare, prin structura lor generală, cu macromoleculele „moderne".

Pînă aici, prin urmare, nici o dificultate majoră. Dar prima etapă decisivă încă nu s-a încheiat: formarea de macromolecule capabile, în condițiile supei primitive, să promoveze propria lor replicare fără ajutorul vreunui aparat teleonomic. Această dificultate nu pare de nedepășit.

S-a arătat că o secvență polinucleotidică poate efectiv să ghideze, prin împerechere spontană, formarea de elemente de secvență complementară. Binențeles, un astfel de mecanism nu putea fi decît foarte ineficace și supus la nenumărate erori. Dar, din momentul intrării lui în scenă, cele trei procese funda-

mentale ale evoluției — replicarea, mutația, selecția — au început să opereze și aveau să asigure un avantaj considerabil macromoleculelor celor mai apte, prin structura lor secvențială, să se replice spontan [1].

A treia etapă este, prin ipoteză, apariția treptată a sistemelor teleonomice, care, în jurul structurii replicative, aveau să construiască un *organism*, o celulă primitivă. Aici atingem cu adevărat „zidul sunetului", deoarece n-avem nici cea mai mică idee despre cum putea să arate structura unei celule primitive. Sistemul viu cel mai simplu pe care-l cunoaștem, celula bacteriană, o mică mașinărie cu o complexitate și o eficacitate extreme, poate să fi atins stadiul lui actual de perfecțiune cu mai bine de un miliard de ani în urmă. Planul chimic de ansamblu al acestei celule este același cu cel al tuturor celorlalte celule vii. De exemplu, ea folosește același cod genetic și același mecanism de traducere ca și celulele umane.

Astfel, celulele cele mai simple, pe care ne este dat să le studiem, nu au nimic „primitiv". Ele sînt produsul unei selecții care, de-a lungul a cinci sute sau o mie de miliarde de generații, a putut să acumuleze o aparatură teleonomică atît de puternică, încît vestigiile structurilor realmente primitive nu sînt discernabile. A reconstitui o astfel de evoluție, fără a avea la dispoziție fosile, este imposibil. Rămîne să ne dorim ca măcar să se poată sugera o ipoteză plauzibilă cu privire la drumul urmat de această evoluție, mai ales la începuturile ei.

Dezvoltarea sistemului metabolic, care, pe măsură ce supa primitivă sărăcea, a trebuit să „învețe" să mobilizeze energia chimică și să sintetizeze constituenți celulari, pune probleme herculeene. La fel stau lucrurile și în ceea ce privește apariția membranei cu permeabilitate selectivă, fără de care nu este posibilă o celulă viabilă. Problema majoră este, însă, originea codului genetic și a mecanismului traducerii sale. De fapt, ar trebui să se vorbească nu de o „problemă", ci de o adevărată enigmă.

enigma originii codului

Codul nu are sens decît dacă are loc și traducerea lui. Mașinăria care asigură traducerea în celula mo-

[1] L. Orgel, *loc. cit.*

dernă cuprinde aproximativ o sută cincizeci de constituenţi macromoleculari *care sînt ei înşişi codificaţi în ADN: traducerea codului o pot face numai produşi ai traducerii*. Este expresia modernă a lui *omne vivum ex ovo*. Cînd şi cum s-a închis cercul? Este excesiv de greu de imaginat. Dar faptul că astăzi codul este descifrat şi se ştie că el este universal permite cel puţin ca problema să fie pusă în termeni precişi; simplificînd puţin, sub forma alternativei următoare:

a) structura codului se explică prin raţiuni chimice sau, mai exact, stereochimice; dacă un anumit cod a fost „ales" ca să reprezinte un anumit aminoacid, acest lucru s-a întîmplat pentru că între ele există o anumită afinitate stereochimică;

b) structura codului este din punct de vedere chimic arbitrară; codul, aşa cum îl cunoaştem, rezultă dintr-o serie de alegeri întîmplătoare, care, treptat, l-au îmbogăţit.

Prima ipoteză pare de departe cea mai seducătoare. În primul rînd, pentru că ea ar explica universalitatea codului. Apoi, pentru că ea ar permite imaginarea unui mecanism primitiv de traducere în care alinierea secvenţială a aminoacizilor pentru a forma o polipeptidă s-ar datora unei interacţii directe între aminoacizi şi structura replicativă însăşi. În sfîrşit şi, mai ales, pentru că această ipoteză, dacă ar fi adevărată, ar fi, în principiu, verificabilă. S-au şi făcut, de altfel, numeroase tentative de verificare, al căror bilanţ trebuie să fie considerat, deocamdată, negativ [1].

Poate că nu s-a spus ultimul cuvînt în această problemă. Aşteptînd o confirmare care pare improbabilă, ajungem la a doua ipoteză, dezagreabilă din considerente metodologice, ceea ce nu înseamnă cîtuşi de puţin că ar fi inexactă. Dezagreabilă din mai multe motive. Ea nu explică universalitatea codului. Ca urmare, trebuie admis că dintre numeroasele tentative de elaborare a supravieţuit numai una. Ceea ce în sine este, de altfel, foarte verosimil, dar nu oferă nici un model al traducerii primitive. Această lipsă tre-

---

[1] Cf. F. Crick, în „Journal of Molecular Biology, 38, 1968, p. 367–379.

buie s-o compenseze, deci, speculațiile. Unele dintre ele sînt foarte ingenioase: terenul e liber, prea liber.

Enigma rămîne, ascunzînd și răspunsul la o chestiune de profund interes. Viața a apărut pe Pămînt: care era, *înaintea evenimentului*, probabilitatea ca el să se producă? Dată fiind structura actuală a biosferei, nu este exclusă, ci dimpotrivă, ipoteza ca evenimentul decisiv să nu se fi produs *decît o singură dată*. Ceea ce ar însemna că probabilitatea lui era *a priori* cvasinulă.

Această idee repugnă majorității oamenilor de știință. Despre un eveniment unic știința nu poate să spună nimic și nici nu are ce face cu el. Ea poate să-și exercite „discursul" numai asupra unor evenimente care formează o clasă și a căror probabilitate *a priori*, oricît de mică ar fi ea, este finită. Or, prin însăși universalitatea structurilor ei, începînd cu codul, biosfera pare să fie produsul unui eveniment unic. Este posibil, bineînțeles, ca acest caracter singular să se datoreze eliminării, prin selecție, a numeroase alte tentative sau variante. Dar nimic nu impune această interpretare.

Probabilitatea *a priori* ca printre toate evenimentele posibile în Univers să se producă un eveniment particular este aproape zero. Totuși, Universul există, ceea ce înseamnă că se produc evenimente particulare a căror probabilitate (înaintea evenimentului) era infimă. La ora actuală, n-avem dreptul nici să afirmăm, nici să negăm că viața a apărut *o singură dată* pe Pămînt și că, prin urmare, înainte ca ea să existe șansele ei de a fi erau cvasinule.

Această idee nu numai că este dezagreabilă biologilor ca oameni de știință. Ea șochează tendința noastră omenească de a crede că orice lucru real din universul actual era — și încă din totdeauna — necesar. Trebuie să fim neîncetat în gardă împotriva acestui sentiment atît de puternic al destinului. Știința modernă ignoră orice imanență. Destinul este scris pe măsură ce se împlinește, nu înainte. Al nostru nu era scris înainte de apariția speciei umane, singura din biosferă care folosește un sistem logic de comunicare simbolică, ceea ce constituie un alt eveniment unic, care ar trebui, chiar prin aceasta, să ne prevină împo-

triva oricărui antropocentrism. Dacă a fost unic, cum poate a fost însăşi apariţia vieţii, este pentru că înainte de a apărea şansele ei erau cvasinule. Universul nu purta în pîntecele său viaţa, şi nici biosfera omul. Numărul nostru a ieşit la loterie. Ce-i de mirare că, asemenea cuiva care a cîştigat, astfel, o avere, simţim toată ciudăţenia condiţiei noastre?

*

* *

Logicianul ar putea să-l avertizeze pe biolog că eforturile lui de „a înţelege" total funcţionarea creierului uman sînt sortite eşecului, deoarece nici un sistem logic n-ar putea să descrie integral propria-i structură. Avertismentul ar fi, însă, în afara chestiunii, într-atît de departe mai sîntem de această graniţă absolută a cunoaşterii. Oricum, obiecţia logică de mai sus nu se aplică şi analizării de către om a sistemului nervos central al unui animal, sistem despre care putem presupune că este mai puţin complex şi mai puţin puternic ca al nostru. Chiar şi în acest caz, însă, rămîne o dificultate majoră: experienţa conştientă a unui animal este impenetrabilă pentru noi şi, fără îndoială, va fi totdeauna aşa. Se poate, oare, afirma că, dacă acest aspect rămîne inaccesibil, este totuşi posibilă descrierea, în principiu exhaustivă, a funcţionării creierului unei broaşte? Avem tot dreptul să ne îndoim. Astfel încît explorarea creierului uman, cu toate barierele din calea experimentării, va rămîne totdeauna de neînlocuit, dat fiindcă oferă posibilitatea de a compara între ele datele obiective şi cele subiective referitoare la o experienţă.

cealaltă graniţă: sistemul nervos central

Oricum, structura şi funcţionarea creierului pot şi trebuie să fie explorate simultan, la toate nivelurile accesibile, cu speranţa că aceste cercetări, foarte diferite prin metodele lor ca şi prin obiectul lor direct, vor converge cîndva. Pentru moment ele nu converg decît prin dificultatea problemelor pe care le ridică.

Printre cele mai grele şi mai importante sînt problemele pe care le pune dezvoltarea epigenetică a unei structuri atît de complexe ca sistemul nervos central. La om, el cuprinde $10^{12}-10^{13}$ neuroni interconectaţi prin intermediul a aproximativ $10^{14}-10^{15}$ sinapse,

dintre care o parte asigură legătura între celule nervoase depărtate unele de altele. Am menționat deja enigma pe care o constituie realizarea de interacțiuni morfogenetice la distanță și nu mai revin aici. Cel puțin, astfel de probleme pot fi puse în termeni clari datorită, mai ales, anumitor experiențe remarcabile [1].

Funcționarea sistemului nervos central nu poate fi înțeleasă fără a o cunoaște pe cea a elementului logic primar pe care-l constituie sinapsa. Dintre toate nivelurile analizei acesta este cel mai accesibil și tehnici rafinate au furnizat un mare număr de documente. Totuși, sîntem încă departe de o interpretare a transmisiei sinaptice în termeni de interacții moleculare. Problema este esențială, deoarece aici rezidă, fără îndoială, secretul ultim al memoriei. Există de multă vreme supoziția că memoria este înregistrată sub forma unei alterări mai mult sau mai puțin ireversibile a interacțiilor moleculare responsabile de transmiterea influxului nervos la nivelul unui ansamblu de sinapse. Această teorie este întrutotul verosimilă, dar nu beneficiază de probe directe [2].

În ciuda acestei profunde ignoranțe în domeniul mecanismelor primare ale sistemului nervos central, electrofiziologia modernă a furnizat cu privire la analiza și integrarea semnalelor nervoase, mai ales în anumite căi senzoriale, rezultate profund semnificative.

În primul rînd, asupra proprietăților neuronului ca integrator al semnalelor pe care le poate primi (prin intermediul sinapselor) de la numeroase alte celule. Analiza a dovedit că neuronul este îndeaproape comparabil, prin performanțele sale, cu componentele integrate ale unui calculator electronic. El este capabil, ca și acestea, să efectueze, de exemplu, toate operațiile logice de calcul al propozițiilor. În plus,

---

[1] Sperry, *passim*.

[2] O teorie conform căreia memoria ar fi codificată în secvența de resturi ale anumitor macromolecule (acizi ribonucleici) a găsit recent credit la unii fiziologi. Aceștia, aparent, credeau că, astfel, își însușesc și utilizează concepțiile la care a dus studierea codului genetic. Or, această teorie este inconsistentă tocmai prin prisma cunoștințelor noastre actuale despre codul genetic și mecanismele de traducere.

însă, el poate să adune sau să scadă diferite semnale ţinînd cont de coincidenţa lor în timp, precum şi să modifice *frecvenţa* semnalelor pe care le emite în funcţie de *amplitudinea* celor pe care le primeşte. De fapt, se pare că nici o componentă unitară folosită actualmente de calculatoarele moderne nu este capabilă de performanţe atît de variate şi atît de fin modulate. Totuşi, analogia între maşinile cibernetice şi sistemul nervos central rămîne impresionantă, iar compararea lor este fructuoasă. Trebuie să reţinem, însă, că ea se limitează deocamdată la niveluri inferioare de integrare: primele trepte ale analizei senzoriale, de exemplu. Funcţiile superioare ale cortexului, a căror expresie este limbajul, par să i se sustragă, deocamdată, total. S-ar putea pune problema dacă nu cumva există aici doar o diferenţă „cantitativă" (grad de complexitate) sau „calitativă". După părerea mea, chestiunea este lipsită de sens. Nimic nu permite supoziţia că interacţiile elementare ar avea o natură diferită la niveluri de integrare diferite. Dacă există un caz unde este aplicabilă prima lege a dialecticii, ei bine, este acesta.

*

* *

funcţii ale sistemului nervos central

Funcţiile cognitive ale omului sînt atît de rafinate şi numărul aplicaţiilor pe care el li-l dă este atît de mare încît acest lucru ne maschează funcţiile primordiale pe care le îndeplineşte creierul în seria animală (inclusiv omul). Poate că aceste funcţii primordiale pot fi enumerate şi definite în modul următor:

1. să asigure comanda şi coordonarea centrală a activităţii neuromotorii în funcţie, mai ales, de aferenţele senzoriale;

2. să conţină, sub formă de circuite genetic determinate, programe de acţiune mai mult sau mai puţin complexe; să le declanşeze în funcţie de anumiţi stimuli;

3. să analizeze, să filtreze şi să integreze aferenţele senzoriale pentru a construi o reprezentare a lumii exterioare adaptată la performanţele specifice ale animalului;

4. să înregistreze evenimentele care (ţinînd cont de gama performanţelor specifice) sînt semnificative,

să le grupeze în clase, conform analogiilor dintre ele; să asocieze aceste clase în funcție de relațiile evenimentelor care le constituie (relații de coincidență sau de succesiune); să îmbogățească, să rafineze și să diversifice programele înnăscute, incluzînd în ele aceste experiențe;

5. să imagineze, cu alte cuvinte *să reprezinte* și să *simuleze* evenimente exterioare sau programe de acțiune ale animalului însuși.

Funcțiile definite de primele trei alineate sînt îndeplinite de sistemul nervos central al animalelor care în general nu sînt calificate ca superioare: de exemplu, artropodele. Dintre exemplele cunoscute de programe foarte complexe de acțiune înnăscute, cele mai spectaculoase se întîlnesc la insecte. Este îndoielnic că funcțiile rezumate în paragraful 4 ar juca un rol important la aceste animale[1]. În schimb, ele au o contribuție foarte importantă la comportamentul nevertebratelor superioare, cum ar fi caracatița[2], și, bineînțeles, la cel al tuturor vertebratelor.

Cît privește funcțiile din paragraful 5, care pot fi calificate drept „proiective", ele, fără îndoială, sînt privilegiul exclusiv al vertebratelor superioare. Aici, însă, se interpune bariera conștiinței și poate că nu știm să recunoaștem semnele exterioare ale acestei activități (visul, de pildă) decît la rudele noastre apropiate, deși alte specii nu sînt în mod absolut lipsite de ea.

Funcțiile 4 și 5 sînt cognitive, pe cînd cele din paragrafele 1, 2 și 3 sînt exclusiv funcții de coordonare și reprezentare. Funcțiile din paragraful 5 sînt singurele care pot fi creatoare de *experiență subiectivă.*

analiza impresiilor senzoriale

Conform propoziției din paragraful 3, analiza de către sistemul nervos central a impresiilor senzoriale furnizează o reprezentare sărăcită și dirijată a lumii exterioare. Un fel de rezumat în care nu apare în plină lumină decît ceea ce interesează în mod special animalul, în funcție de comportamentul lui specific (pe scurt, un rezumat „critic", cuvîntul fiind luat într-o

[1] Cu excepția, poate, a albinelor.
[2] J.Z. Young, „A model of the brain", Oxford University Press, 1964.

accepție complementară sensului kantian). Experiența demonstrează din plin că lucrurile stau într-adevăr așa. De exemplu, analizorul situat în spatele ochiului unei broaște îi permite acesteia să vadă o muscă (adică un punct negru) în mișcare, dar nu și în repaus [1], astfel încît broasca nu va prinde decît musca în zbor. Trebuie să insistăm asupra faptului, dovedit de analiza electrofiziologică, că nu este vorba de rezultatul unui comportament care ar face-o pe broască să disprețuiască un punct negru imobil, ca nereprezentînd, cu certitudine, ceva de mîncare. Imaginea punctului imobil se imprimă neîndoielnic pe retină, dar ea nu este *transmisă*, sistemul nefiind excitat decît de un obiect în mișcare.

Experiențe făcute pe pisici sugerează o interpretare a faptului misterios că o suprafață care reflectă simultan toate culorile spectrului este văzută ca o întindere *albă*, pe cînd albul este interpretat subiectiv ca absența oricărei culori. Experimentatorii au arătat că în urma inhibiției încrucișate a anumitor neuroni care răspund, respectiv, la diferite lungimi de undă, aceștia nu trimiteau semnale cînd retina era expusă uniform la întreaga gamă a lungimilor de undă vizibile. Așadar, Goethe avea, într-un sens subiectiv, dreptate și nu Newton. O greșeală întru totul pardonabilă unui poet.

Nu mai încape îndoială nici că animalele sînt capabile să clasifice obiecte sau relații între obiecte conform unor categorii abstracte, mai ales geometrice; o caracatiță sau un șobolan poate să învețe noțiunea de triunghi, de cerc sau de pătrat și să recunoască fără greș aceste figuri datorită proprietăților lor geometrice, indiferent de dimensiunea, poziția sau culoarea obiectului real care le este prezentat.

Studierea circuitelor care analizează figurile prezentate în cîmpul vizual al pisicii demonstrează că aceste succese în domeniul geometriei se datorează însăși structurii circuitelor care filtrează și recompun imaginea retiniană. Acești analizori impun, în definitiv, propriile lor restricții imaginii, din care extrag anumite elemente simple. De exemplu, anumite celule nervoase nu răspund decît la figura unei drepte oblice

[1] H.B. Barlow, în „Journal of Physiology", 119, 1953, p. 69—88.

de la stînga spre dreapta; altele, la o dreaptă oblică în sens invers. „Noțiunile" geometriei elementare nu sînt, deci, reprezentate în obiect ca atare, ci prin intermediul analizorului senzorial, care îl percepe și îl recompune pornind de la elementele lui cele mai simple [1].

Aceste descoperiri moderne dau, deci, dreptate, într-un sens nou, lui Descartes și lui Kant, împotriva empirismului radical a cărui domnie în știință n-a încetat, totuși, niciodată în ultimii două sute de ani, aruncînd suspiciuni asupra tuturor ipotezelor care presupuneau că formele cunoașterii ar fi „înnăscute". Chiar și în zilele noastre unii etologi par atașați ideii că, la animal, bazele comportamentului sînt fie înnăscute, fie învățate, fiecare din aceste două moduri excluzîndu-l necondiționat pe celălalt. Această concepție este total greșită, cum a demonstrat Lorenz foarte pregnant [2]. Cînd comportamentul implică elemente dobîndite prin experiență, ele sînt implicate în conformitate cu un *program* înnăscut, adică determinat genetic. Structura programului cheamă și direcționează învățarea, care se va înscrie, deci, într-o anumită „formă" prestabilită, definită în patrimoniul genetic al speciei. Fără îndoială că așa trebuie interpretat procesul de învățare primară a limbajului de către copil (cf. cap. 7). Nu există nici un motiv de a nu presupune că, la om, lucrurile s-ar petrece la fel în cazul categoriilor fundamentale ale cunoașterii și, poate și în cazul a destule alte elemente ale comportamentului uman, mai puțin fundamentale, dar de mare semnificație pentru individ și societate. Problemele de acest gen sînt accesibile experimentului. Etologii fac astfel de experiențe în mod curent. Ele sînt, însă, experiențe care comportă o anumită cruzime și în consecință practicarea lor pe om, de fapt pe copil, este de neconceput. Ca urmare, din respect de sine, omul nu poate să nu-și interzică explorarea unora din structurile constitutive ale ființei sale.

înnăscut sau dobîndit empiric

---

[1] T.N. Wiesel and D.H. Hubel, „Journal of Physiology", 148, 1959, p. 574–591.

[2] K. Lorenz, *Evolution and Modification of Behavior*, University of Chicago Press, Chicago, 1965.

*

* *

Îndelungata controversă pe care a stîrnit-o teza carteziană despre caracterul înnăscut al „ideilor", negat de empiriști, amintește de cea care i-a divizat pe biologi pe tema deosebirii dintre fenotip și genotip. O deosebire fundamentală, indispensabilă geneticienilor, care au introdus-o pentru definirea patrimoniului ereditar, dar foarte suspectă în ochii multor biologi negeneticieni care au văzut în ea numai un artificiu menit să salveze postulatul invarianței genei. Regăsim aici, încă odată, opoziția dintre cei care nu vor să cunoască decît obiectul actual, concret, în întreaga lui prezență, și cei care caută să discearnă în el reprezentarea unei forme ideale. Alain spunea că nu există decît două feluri de savanți: cei care iubesc ideile și cei care urăsc ideile. Cele două stări de spirit se opun și azi în știință. Prin confruntarea lor, ambele sînt necesare progreselor științei. Nu putem decît regreta, pentru denigratorii ideilor, că acest progres, la care ei contribuie, îi contrazice invariabil.

Și totuși, într-un sens, foarte important, marii empiriști din secolul al XVIII-lea nu greșeau. Este perfect adevărat că la ființele vii totul vine din experiență, inclusiv ceea ce este conținut în programul genetic, indiferent dacă este vorba de comportamentul stereotip al albinelor sau de structurile înnăscute ale cunoașterii umane. Dar nu din experiența actuală, reînnoită de fiecare individ, în fiecare generație, ci din cea acumulată de întreaga ascendență a speciei în cursul evoluției. Numai această experiență adunată la întîmplare, numai aceste tentative nenumărate, sancționate de selecție, puteau să facă din sistemul nervos central, ca și din oricare alt organ, un sistem adaptat la funcția care îi este proprie. În cazul creierului: să ofere despre lumea sensibilă o reprezentare adecvată performanțelor speciei, să furnizeze cadrul care permite clasificarea eficace a datelor experienței nemijlocite inutilizabile în sine și chiar la om, să asigure o simulare subiectivă a experienței, pentru a-i anticipa rezultatele și a pregăti acțiunea.

Tocmai puternica dezvoltare și folosirea intensă a funcției simulării caracterizează, după mine, proprie-

tățile unice ale creierului omului. Aceasta, la nivelul cel mai profund al funcțiilor cognitive, cel pe care se bazează limbajul și pe care nu-l explică decît în parte. Această funcție nu este, totuși, exclusiv umană. Un cățel care-și manifestă bucuria văzîndu-și stăpînul pregătindu-se de plimbare, evident își imaginează, adică simulează prin anticipare, descoperirile pe care le va face, aventurile care-l așteaptă, temerile delicioase pe care le va trăi, fără primejdie, desigur, datorită prezenței liniștitoare a protectorului său. Mai tîrziu el va simula toate acestea din nou, talmeș-balmeș, în vis.

funcția de simulare

La animal, ca și la copilul mic, simularea obiectivă nu pare decît parțial disociată de activitatea neuromotorie. La adult, însă, simularea subiectivă devine funcție superioară prin excelență, funcția creatoare. Pe ea o reflectă funcția simbolică a limbajului, care o explicitează transpunîndu-i și rezumîndu-i operațiile. De aici și faptul, subliniat de Chomsky, că limbajul, chiar și în utilizările lui cele mai umile, este aproape întotdeauna novator: aceasta, pentru că el traduce o experiență subiectivă, o simulare aparte, totdeauna nouă. Tot prin aceasta, limbajul uman diferă în mod radical de comunicarea animală, care se reduce la apeluri sau avertismente corespunzătoare unui anumit număr de situații concrete stereotipe. Animalul cel mai inteligent, capabil neîndoielnic de simulări subiective destul de precise, nu dispune de nici un mijloc de a-și „descărca conștiința" decît doar indicînd în mod rudimentar în ce *sens* acționează imaginația lui. Omul, însă, știe să-și rostească experiențele subiective: experiența nouă, întîlnirea creatoare, nu mai dispare o dată cu cel la care a avut loc, pentru prima oară, simularea ei.

Toți oamenii de știință au trebuit, cred, să devină conștienți că, la nivel profund, nu gîndesc în cuvinte: e vorba de o *experiență imaginară*, simulată cu ajutorul formelor, forțelor, interacțiunilor care alcătuiesc doar cu greu o „imagine" în sensul vizual al termenului. Eu însumi m-am surprins, deoarece din cauza concentrării atenției asupra experienței imaginare nu mai aveam nimic altceva în cîmpul conștiinței, că mă identific cu o moleculă de proteină. Totuși, nu în acest moment apare semnificația experienței simulate, ci

abia după ce a fost explicitată simbolic. De fapt, cred că imaginile nevizuale cu care operează simularea trebuie să fie considerate nu simboluri, ci, mai degrabă, „realitatea" subiectivă și abstractă, oferită direct experienței imaginare.

Oricum, în mod curent, procesul de simulare este total mascat de vorbire, care îi succede aproape imediat și care pare să se confunde cu gîndirea însăși. Se știe, însă, că numeroase observații obiective dovedesc că la om funcțiile cognitive, chiar cele complexe, nu sînt legate nemijlocit de cuvînt (sau de orice alt mijloc de exprimare simbolică). Se pot cita, mai ales, studiile făcute asupra diferitor tipuri de afazie. Poate că experiențele cele mai impresionante sînt cele făcute de Sperry [1] pe subiecți cărora cele două emisfere le fuseseră separate prin secționarea chirurgicală a corpului calos. La acești subiecți, ochiul drept și mîna dreaptă nu comunică informații decît emisferei stîngi, și invers. Astfel, un obiect văzut cu ochiul stîng, sau pipăit cu mîna stîngă, este recunoscut, dar subiectul nu poate să-l numească. Or, în anumite teste dificile în care se cerea împerecherea formei (tridimensionale) a unui obiect ținut într-una din mîini cu proiecția *în plan* a acestei forme, prezentată pe un ecran, emisfera dreaptă (afazică) se dovedea cu mult superioară emisferei „dominante" (stîngi) și mult mai rapidă în discriminare. Este tentant să faci speculații despre posibilitatea ca o parte importantă, poate cea mai „profundă", a simulării subiective să fie asigurată de emisfera dreaptă.

*

* *

Dacă este legitim să considerăm că gîndirea se bazează pe un proces de simulare subiectivă, trebuie să admitem că înalta dezvoltare a acestei facultăți la om este rezultatul unei evoluții în cursul căreia eficacitatea procesului, valoarea lui de supraviețuire, a fost verificată de selecție în acțiunea concretă, pregătită de experiența imaginară. Deci, dacă la strămoșii noștri proprietatea sistemului nervos central de a simula a

---

[1] J. Levi-Agresti and R.W. Sperry, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 61, 1968, p. 1151.

fost împinsă pînă la stadiul atins la *Homo sapiens*, aceasta se datorează tocmai capacității ei de reprezentare adecvată și de previziune exactă, *confirmate de experiența concretă*. Simulatorul subiectiv nu avea dreptul să se înșele cînd era vorba de a organiza vînarea unei pantere cu armele de care putea să dispună australantropul, pitecantropul sau chiar *Homo sapiens* de Cro-Magnon. Tocmai de aceea instrumentul logic înnăscut, moștenit de la strămoșii noștri, nu ne înșală și ne permite să „înțelegem" evenimentele din univers, adică să le descriem în limbaj simbolic și să le prevedem, cu condiția ca simulatorului să-i fie puse la dispoziție elementele de informație necesare.

Instrument de anticipare care se îmbogățește necontenit din rezultatele propriilor experiențe, simulatorul este instrumentul descoperirii și al creației. Tocmai analiza logică a funcționării lui subiective a permis formularea regulilor logicii obiective și crearea de noi instrumente simbolice, ca matematica. Spirite mari (Einstein) s-au minunat deseori, pe bună dreptate, de faptul că matematica creată de om poate să reprezinte atît de fidel natura, deși nu datorează nimic experienței. Nimic, ce-i drept, experienței individuale și concrete, dar totul virtuților simulatorului făurit de experiența incalculabilă și cruntă a sărmanilor noștri strămoși. Confruntînd sistematic logica cu experiența, conform metodei științifice, de fapt confruntăm întreaga experiență a acestor strămoși cu experiența actuală.

*

*   *

Dacă putem să ghicim existența acestui instrument minunat, dacă știm să traducem, cu ajutorul limbajului, rezultatul operațiilor pe care le face, în schimb n-avem nici o idee despre funcționarea și structura lui. Experimentul fiziologic este, aici, încă aproape neputincios. Introspecția, în ciuda pericolelor ei, ne spune, totuși, ceva mai mult. Rămîne analiza limbajului, care, însă, nu dezvăluie procesul de simulare decît prin intermediul unor transformări necunoscute și, fără îndoială, nu clarifică toate operațiile lui.

Iată granița, care ne este, încă, aproape la fel de netrecut pe cît îi era lui Descartes. Cît timp nu se va

iluzia dualistă și prezența spiritului

trece dincolo de ea dualismul își păstrează, în mare, adevărul operațional. În trăirea actuală noțiunea de creier și cea de spirit nu se confundă mai mult pentru noi în trăirea actuală, decît pentru oamenii secolului al XVII-lea. Analiza obiectivă ne obligă să vedem în dualismul aparent al ființei o iluzie. O iluzie într-atît de intim legată de ființa însăși, încît ar fi zadarnică speranța de a o spulbera vreodată prin sesizarea nemijlocită a subiectivității sau de a învăța să trăiești afectiv, moral, fără ea. Și, de altfel, de ce ar trebui așa ceva? Cine s-ar putea îndoi de prezența spiritului? A renunța la iluzia care vede în suflet o „substanță" imaterială nu înseamnă a-i nega existența, ci, dimpotrivă, a începe să recunoști complexitatea, bogăția, profunzimea insondabilă, proprii moștenirii genetice și culturale, ca și experienței personale, conștiente sau nu, care, laolaltă, constituie ființa care sîntem, unică și irecuzabilă martoră de sine.

9
ÎMPĂRĂŢIA ŞI TENEBRELE

Cum am spus, din ziua cînd australantropul sau vreunul din congenerii săi a izbutit să comunice nu doar o experienţă concretă şi actuală, ci conţinutul unei experienţe subiective, al unei „simulări" personale, a luat naştere un nou regn, regnul ideilor. Devenea posibilă o nouă evoluţie, a culturii. Evoluţia fizică a omului avea să continue încă multă vreme de acum încolo, în strînsă asociere cu cea a limbajului, profund marcată de influenţa acestuia, care răsturna condiţiile selecţiei.

presiuni de selecţie în evoluţia omului

Omul modern este produsul acestei simbioze evolutive. Prin prisma oricărei alte ipoteze el este de neînţeles, indescifrabil. Fiecare fiinţă vie este şi o fosilă. Ea poartă în sine, pînă în structura microscopică a proteinelor ei, urmele, dacă nu stigmatele, ascendenţei sale. În cazul omului acest lucru este chiar mult mai adevărat decît la orice altă specie animală, dată fiind dualitatea, materială şi „ideală", a evoluţiei pe care a moştenit-o.

Se poate considera că timp de sute de milenii evoluţia ideală n-a devansat decît cu puţin evoluţia fizică, evoluţie care a frînat-o pe cea dintîi prin slaba dezvoltare a unui cortex, capabil doar să anticipeze evenimente legate direct de supravieţuirea imediată. De unde intensa presiune de selecţie care avea să împingă la dezvoltarea capacităţii de simulare şi a limbajului care îi explicitează operaţiile. De unde şi rapiditatea surprinzătoare a acestei evoluţii, căreia îi stau dovadă craniile fosile.

Pe măsură, însă, ce această evoluție conjugată continua, componenta ei ideală dobîndea inevitabil mai multă independență față de constrîngerile pe care însăși dezvoltarea sistemului nervos central le înlătura puțin cîte puțin. Datorită acestei evoluții omul își extindea dominația asupra universului subuman și suferea mai puțin de pe urma primejdiilor lui. Presiunea de selecție care ghidase prima fază a evoluției putea acum să slăbească și, în orice caz, căpăta un alt caracter. Dominîndu-și de acum înainte mediul, omul nu mai avea în față un alt adversar serios decît pe sine însuși. Lupta intraspecifică directă, lupta pe viață și pe moarte, devenea, astfel, unul din principalii factori de selecție în specia umană. Este un fenomen extrem de rar în evoluția animalelor. În zilele noastre, războiul intraspecific, între rase sau grupuri distincte, este necunoscut la speciile animale. La mamiferele mari, chiar ciocnirea individuală, frecventă între masculi, nu duce decît rareori la moartea învinsului. Toți specialiștii sînt de acord că lupta directă, „struggle for life" a lui Spencer, n-a jucat decît un rol minor în evoluția speciilor. Acest lucru nu mai este valabil în cazul omului. Începînd cel puțin de la un anumit grad de dezvoltare și de expansiune a speciei, războiul dintre triburi sau dintre rase a jucat, evident, un rol important ca factor de evoluție. Este foarte posibil ca dispariția brutală a omului de Neanderthal să fi fost rezultatul unui genocid comis de strămoșul nostru *Homo sapiens*. N-avea să fie ultimul: istoria cunoaște destule genociduri.

În ce direcție avea să împingă această presiune de selecție evoluția umană? Bineînțeles ea a putut să favorizeze expansiunea unor rase mai bine dotate cu inteligență, imaginație, voință, ambiție. Dar ea, totodată, a trebuit să favorizeze coeziunea grupului, agresivitatea lui mai mult decît curajul individual, respectarea legilor tribului mai mult decît inițiativa.

Accept toate criticile care s-ar aduce acestei scheme simpliste. Nu pretind să împart evoluția umană în două faze distincte. N-am făcut altceva decît o încercare de a enumera principalele presiuni de selecție care, cu siguranță, au jucat un rol major în evoluția nu numai culturală, ci și fizică a omului. Important

este că timp de sute de milenii evoluţia culturală nu putea să nu influenţeze evoluţia fizică; la om, mai mult decît la orice alt animal, chiar în virtutea autonomiei sale infinit superioare, *comportamentul* este cel care *orientează* presiunea de selecţie. Iar cînd comportamentul a încetat să fie, în principal, automat pentru a deveni cultural, trăsăturile culturale înseşi aveau să exercite presiunea lor asupra evoluţiei genomului.

Aceasta, însă, pînă în momentul în care rapiditatea crescîndă a evoluţiei culturale avea să o separe complet de cea a genomului.

*

* *

pericole de degradare genetică în societăţile moderne

Este evident că în societăţile moderne această separare a devenit totală. În ele selecţia a fost suprimată. Cel puţin ea nu mai are nimic „natural" în sensul darwinian al termenului. În societăţile noastre, în măsura în care mai acţionează o selecţie, ea nu favorizează „supravieţuirea celui mai apt", adică, în termeni mai moderni, supravieţuirea *genetică* a acestui „mai apt", printr-o expansiune mai mare a descendenţei sale. Inteligenţa, ambiţia, curajul, imaginaţia sînt, desigur, în continuare, factori de succes în societăţile moderne. Dar de succes *personal*, nu *genetic*, singurul care contează pentru evoluţie. Dimpotrivă. După cum se ştie, statisticile dezvăluie o corelaţie negativă între coeficientul de inteligenţă (sau nivelul de cultură) şi numărul mediu de copii al cuplurilor. Aceleaşi statistici demonstrează, în schimb, că în ceea ce priveşte coeficientul de inteligenţă există o puternică corelaţie pozitivă între soţi. O situaţie periculoasă, care riscă să dreneze puţin cîte puţin potenţialul genetic cel mai ridicat spre o elită care ar tinde, ca valoare relativă, să se restrîngă.

Mai mult decît atît: într-o epocă încă recentă, chiar şi în societăţile relativ „avansate", eliminarea celor mai puţin apţi sub raport fizic şi intelectual se făcea automat şi cu cruzime. Majoritatea nu ajungea la vîrsta pubertăţii. Astăzi, un mare număr din aceşti infirmi genetici supravieţuiesc destulă vreme pentru a se reproduce. Datorită progreselor cunoaşterii şi celor ale eticii sociale, mecanismul care apăra specia de degradare — inevitabilă cînd selecţia naturală este abo-

lită — nu mai funcționează decît pentru tarele cele mai grave.

Acestor primejdii, deseori semnalate, li s-au opus uneori remediile așteptate de la recentele progrese ale geneticii moleculare. Această iluzie, răspîndită de cîțiva semi-savanți, trebuie spulberată. Fără îndoială, se vor putea atenua unele tare genetice, *dar numai la individul lovit de ele*, nu și la descendenții lui. Nu numai că genetica moleculară modernă nu ne oferă *nici un mijloc* de a acționa asupra patrimoniului ereditar pentru a-l îmbogăți cu trăsături noi, pentru a crea un „supraom" genetic, dar ea ne dezvăluie deșertăciunea unei astfel de năzuințe: scara microscopică a genomului interzice deocamdată și, fără îndoială, pe veci astfel de manipulări. Lăsînd la o parte himerele literaturii științifico-fantastice, singurul mijloc de „a ameliora" specia umană ar fi operarea unei selecții deliberate și stricte. Cine ar dori, cine ar îndrăzni să recurgă la ea?

Pericolul pe care-l prezintă pentru specie condițiile de neselecție sau de selecție răsturnată, dominante în societățile avansate, este neîndoielnic. El nu ar putea, însă, deveni foarte serios decît pe termen lung: să zicem zece sau cincisprezece generații, cîteva secole adică. Or, societățile moderne sînt expuse unor amenințări presante și grave de altă natură.

*

* *

Nu am în vedere, aici, explozia demografică, distrugerea naturii, nici măcar megatonele, ci un rău mult mai profund și mai grav, un rău al sufletului, pe care l-a generat și îl agravează neîncetat cea mai mare cotitură din evoluția ideală. Prodigioasa dezvoltare a cunoașterii din ultimele trei secole îl constrînge astăzi pe om la o revizuire sfîșietoare a concepției — înrădăcinate de zeci de mii de ani — pe care o avea despre sine și despre relația lui cu universul.

Toate acestea, însă, răul sufletesc ca și puterea megatonelor, ne vin de la o simplă idee: natura este obiectivă, adevărul cunoașterii nu poate avea altă sursă decît confruntarea sistematică a logicii cu experiența. Este greu de înțeles cum a fost cu putință ca, în împă-

rația ideilor, această idee, atît de simplă și de clară, să nu apară în plină lumină decît la o sută de mii de ani după ivirea lui *Homo sapiens*; cum se face că civilizații din cele mai înalte — de pildă cea chineză — au ignorat-o, învățînd-o doar de la Occident; și de ce, chiar în Occident, a fost nevoie de aproape 2 500 de ani, de la Tales și Pitagora la Galilei, Descartes, Bacon, pentru ca ea să se elibereze în sfîrșit de claustrarea ei în practica meșteșugurilor manuale.

selecția ideilor

Este tentant pentru un biolog să compare evoluția ideilor cu cea a biosferei. Căci, dacă împărăția abstractă a ideilor transcende biosfera mai mult decît aceasta universul neviu, ideile au păstrat anumite proprietăți ale organismelor. Ca și organismele ele tind să-și perpetueze structura și s-o multiplice, ca și organismele ele își pot uni, recombina, separa conținutul, ca și organismele, în fine, ele evoluează și, în această evoluție, selecția, fără dubiu, joacă un mare rol. Nu m-aș hazardasă propun o teorie a selecției ideilor, dar putem, măcar, încerca să definim unii dintre factorii principali care joacă un rol în ea. Această selecție trebuie necesarmente să opereze pe două planuri: cel al spiritului însuși și cel al performanței.

Valoarea de performanță a unei idei ține de modificarea de comportament determinată de ea la individul sau grupul care o adoptă. Cea care conferă grupului uman ce și-o însușește mai multă coeziune, ambiție, încredere în sine, îi va da, implicit, un plus de forță de expansiune care va asigura promovarea ideii însăși. Această valoare de promovare nu este în mod necesar legată de cuantumul de adevăr obiectiv pe care-l comportă ideea. Puternica armătură pe care o constituie pentru o societate ideologia religioasă nu datorează nimic structurii ei în sine, ci faptului că această structură este acceptată, că se impune. De aceea și este greu să se separe forța de pătrundere a unei idei de capacitatea ei de performanță.

Forța de pătrundere, în sine, este mult mai greu de analizat. Să spunem că ea depinde de structurile spirituale preexistente, printre care ideile vehiculate de cultură, dar și, fără îndoială, anumite structuri înnăscute pe care, de altfel, ne este destul de greu să le identificăm. Se poate, însă, constata că forța cea

mai mare de pătrundere o au ideile care *explică* omul, atribuindu-i un loc al său în cadrul unui destin imanent, unde angoasa lui se dizolvă.

*

* *

Timp de sute de mii de ani destinul omului s-a confundat cu cel al grupului său, al tribului său, în afara căruia nu putea să supravieţuiască. Cît priveşte tribul, el nu putea să supravieţuiască şi să se apere decît prin coeziunea lui. De unde şi forţa subiectivă extrem de mare a legilor care organizau şi asigurau această coeziune. Poate că, uneori, cîte un om le încălca, dar nici unul n-ar fi visat măcar să le nege. Dată fiind imensa importanţă selectivă pe care au dobîndit-o în mod necesar astfel de structuri sociale — şi pe o durată atît de lungă —, este greu să nu considerăm că ele au trebuit să influenţeze evoluţia genetică a categoriilor înnăscute ale creierului uman. Această evoluţie avea nu numai să faciliteze acceptarea legii tribale, ci şi să creeze *nevoia* explicaţiei mitice care stă la baza acestei legi şi îi conferă suveranitatea. Noi sîntem descendenţii acestor oameni. Fără îndoială, de la ei am moştenit cerinţa unei explicaţii, angoasa, neliniştea care ne constrînge să căutăm sensul existenţei. Angoasa care a creat toate miturile, toate religiile, neliniştea creatoare a tuturor filozofiilor şi a ştiinţei înseşi.

nevoia de explicaţie

În ceea ce mă priveşte, nu am nici cea mai mică îndoială că această nevoie imperioasă este înnăscută, că este înscrisă undeva în mesajul codului genetic, că se dezvoltă spontan. Exceptînd specia umană, în regnul animal nu se întîlnesc nicăieri organizări sociale puternic diferenţiate, cu excepţia celor întîlnite la unele insecte: furnici, termite, albine. La insectele sociale stabilitatea instituţiilor nu datorează aproape nimic unei moşteniri culturale, dar totul transmisiei genetice. Comportamentul lor social este în întregime înnăscut, automat.

La om, instituţiile sociale, pur culturale, nu vor putea atinge niciodată o astfel de stabilitate. De altfel, cine-ar dori-o? Inventarea miturilor şi religiilor, construirea unor vaste sisteme filozofice sînt preţul pe

care omul a trebuit să-l plătească pentru a supraviețui ca animal social fără să se supună unui pur automatism. Singură, moștenirea strict culturală nu ar fi, însă, destul de sigură, destul de puternică pentru a susține structurile sociale. Acestei moșteniri îi trebuia un suport genetic care să facă din ea o hrană cerută de spirit. De n-ar fi fost așa, cum să explici universalitatea, în specia noastră, a fenomenului religios la baza structurii sociale? Cum să explici, în plus, că în imensa diversitate a miturilor, a religiilor sau a ideologiilor filozofice se regăsește aceeași „formă" esențială?

Este ușor de văzut că „explicațiile" menite să întemeieze legea prin potolirea angoasei sînt, toate, „istorii" sau, mai exact, ontogenii. Miturile primitive se referă, aproape toate, la eroi mai mult sau mai puțin divini, a căror faptă explică originile grupului și îi întemeiază structura socială pe tradiții intangibile: istoria nu se reeditează. Marile religii au toate aceeași formă, bazîndu-se pe istoria vieții unui profet inspirat, care, chiar dacă nu este el atoateîntemeietorul, îl reprezintă pe acesta, vorbește în numele lui și rostește istoria oamenilor ca și destinul lor. Dintre toate marile religii, iudeo-creștinismul este fără îndoială cea mai „primitivă" prin structura ei istoricistă, legată direct de legenda eroică a unui trib beduin înainte de a fi îmbogățită de către un profet divin. Budismul, dimpotrivă, mai puternic diferențiat, este legat, în forma lui inițială, numai de karma, legea transcendentă care guvernează soarta individului. Este o istorie mai mult a sufletelor decît a oamenilor.

ontogeniile mitice și metafizice

De la Platon la Hegel și Marx, toate marile sisteme filozofice propun ontogenii, totodată, explicative și normative. Ce-i drept, la Platon ontogenia este răsturnată. El nu vede în istorie decît o corupere treptată a formelor ideale, iar în *Republica* el vrea, de fapt, să pună în mișcare o mașină pentru întoarcerea în timp.

Pentru Marx ca și pentru Hegel istoria se desfășoară conform unui plan imanent, necesar și favorabil. Imensa putere pe care o are asupra spiritelor ideologia marxistă se datorează nu numai promisiunii ei privind eliberarea omului, ci și — fără îndoială înainte de toate — structurii ei ontogenice, explicației pe care o dă, în ansamblu și în amănunte, istoriei trecute, pre-

zente și viitoare. Totuși, limitat la istoria umană și chiar înarmat cu certitudinile „științei", materialismul istoric rămînea incomplet. Era nevoie să i se adauge materialismul dialectic, care, el, aduce interpretarea totală cerută de spirit: istoria umană și cea a cosmosului sînt unite în ea, ca ascultînd de aceleași legi eterne.

*

* *

ruperea „vechii alianțe" animiste și răul sufletesc modern

Dacă este adevărat că nevoia unei explicații depline este înnăscută, că lipsa ei este un izvor de profundă neliniște; dacă singura formă de explicație capabilă să potolească angoasa este cea a unei istorii totale care dezvăluie semnificația omului atribuindu-i în planurile naturii un loc necesar; dacă pentru a părea adevărată, semnificativă, liniștitoare, „explicația" trebuie să se dizolve în îndelungata tradiție animistă [1], se înțelege atunci de ce a fost nevoie de atîtea milenii pentru ca în împărăția ideilor să apară și ideea cunoașterii obiective ca *singura* sursă de adevăr autentic.

Această idee austeră și rece, care nu propune nici o explicație dar impune o renunțare ascetică la orice altă hrană spirituală nu putea să calmeze angoasa înnăscută; dimpotrivă, ea o exacerba. Ea pretindea să șteargă, cu o linie, o tradiție de o sută de milenii, asimilată de natura umană însăși; ea denunța vechea alianță animistă a omului cu natura, nelăsînd în locul acestei legături prețioase decît o căutare anxioasă într-un univers înghețat al singurătății. Cum putea să fie acceptată o astfel de idee, care părea să nu se bazeze decît pe o aroganță puritană? Ea n-a fost acceptată. Nici acum ea, încă, nu este acceptată. Iar dacă, în pofida a toate, ea s-a impus, aceasta s-a întîmplat numai datorită uluitoarei ei puteri de performanță.

În trei secole, știința, bazată pe postulatul obiectivității, și-a cucerit locul în societate: în practică, dar nu în suflete. Societățile moderne sînt construite pe știință. Ele îi datorează bogăția lor, puterea lor și certitudinea că, dacă omul vrea, mîine îi vor fi accesibile bogății și puteri mult mai mari. Totodată, însă,

[1] Poate trebuie să subliniez din nou că folosesc acest calificativ într-o accepție particulară, dată în cap. 2 (cf. p. 35 — 36).

așa cum o „alegere" inițială, în evoluția biologică a unei specii, poate să angajeze viitorul întregii ei descendențe, la fel alegerea, inconștientă la origine, a unei *practici* științifice a lansat evoluția culturii pe un drum cu sens unic: o traiectorie pe care progresismul științific al secolului al XIX-lea o vedea ducînd fără greș la o înflorire uluitoare a omenirii, pe cînd noi, astăzi, vedem deschizîndu-se la picioarele noastre o genune a tenebrelor.

Societățile moderne au acceptat bogățiile și puterile pe care știința li le descoperea. Dar ele n-au acceptat, abia dacă au ascultat, mesajul cel mai profund al științei: definirea unei surse noi și unice de adevăr, cerința unei revizuiri totale a bazelor eticii, unei rupturi totale cu tradiția animistă, abandonarea definitivă a „vechii alianțe", necesitatea făuririi uneia noi. Înarmați cu toate puterile și bucurîndu-se de toate bogățiile pe care le datorează științei, societățile noastre încearcă, în continuare, să se nutrească din sistemele de valori pe care le și profesează, sisteme deja ruinate pînă-n temelii de însăși această știință.

Nici o societate, pînă la a noastră, n-a cunoscut o asemenea sfîșiere. În culturile primitive ca și în cele clasice izvoarele cunoașterii și cele ale valorilor se confundau în virtutea tradiției animiste. Pentru prima oară în istorie o civilizație încearcă să se edifice rămînînd cu desperare legată, pentru a-și justifica valorile, de tradiția animistă, dar abandonînd-o ca sursă de cunoaștere, de *adevăr*. Societățile „liberale" din Occident continuă să profeseze, din vîrful buzelor, ca bază a moralei lor, un dezgustător amestec de religiozitate iudeo-creștină, progresism scientist, credință în drepturi „naturale" ale omului și pragmatism utilitarist. Societățile marxiste continuă să profeseze religia materialistă și dialectică a istoriei: un cadru moral aparent mai solid decît cel al societăților liberale, dar mai vulnerabil, poate din cauza rigidității însăși care-i constituia pînă acum forța. Oricum, toate aceste sisteme înrădăcinate în animism sînt în afara cunoașterii obiective, în afara adevărului, străine și, în definitiv, *ostile* științei, pe care vor s-o utilizeze, dar nu s-o respecte și s-o servească. Divorțul este atît de mare, minciuna atît de flagrantă, încît obsedează conștiința oricărui om cît de cît cult,

cît de cît inteligent și stăpînit de acea anxietate morală care este izvorul oricărei creații. Cu alte cuvinte, este vorba de conștiința tuturor oamenilor care poartă sau vor purta răspunderea pentru evoluția societății și a culturii.

Răul sufletesc modern este această minciună aflată la rădăcina ființei morale și sociale. Tocmai acest rău, diagnosticat mai mult sau mai puțin confuz, provoacă sentimentul de teamă, dacă nu de ură, în orice caz de alienare pe care-l încearcă astăzi atîția oameni față de cultura științifică. Cel mai adesea, aversiunea se exprimă deschis față de subprodusele tehnologice ale științei: bomba, distrugerea naturii, amenințarea demografică. Este ușor, bineînțeles, să se răspundă că tehnologia nu este știință și că, de altfel, folosirea energiei atomice va fi, curînd, indispensabilă pentru supraviețuirea umanității; că distrugerea naturii denunță o tehnologie insuficientă și nu un exces de tehnologie; că explozia demografică se datorează faptului că milioane și milioane de copii sînt salvați anual de la moarte: dar trebuie oare să-i lăsăm din nou să moară?

Este un discurs superficial, care confundă semnele cu cauzele profunde ale răului. Refuzul vizează chiar mesajul esențial al științei. Teama este de sacrilegiu: de atentat la valori. O teamă întru totul justificată. Este efectiv adevărat că știința atentează la valori. Nu direct, deoarece ea nu este judecătorul lor și *trebuie* să le ignoreze; dar ea ruinează toate ontogeniile mitice sau filozofice pe care tradiția animistă, de la aborigenii australieni pînă la dialecticienii materialiști, întemeia valorile, morala, datoriile, drepturile, interdicțiile.

Dacă acceptă acest mesaj cu întreaga lui semnificație, omul trebuie, într-adevăr, să se trezească din visul lui multimilenar pentru a-și descoperi deplina singurătate, stranietatea radicală. El știe acum că, asemeni unui țigan, se află la marginea universului în care trebuie să trăiască. Un univers surd la muzica lui, indiferent la speranțele lui, ca și la suferințele sau crimele lui.

Dar, atunci, cine definește crima? Cine hotărăște binele și răul? Toate sistemele tradiționale sustrăgeau etica și valorile accesibilității omului. Valorile nu-i

aparţineau: ele i se impuneau, iar el le aparţinea. Acum el ştie că ele sînt numai ale lui şi faptul că este, în sfîrşit, stăpînul lor îi creează impresia că ele se dizolvă în vidul indiferent al universului. Şi atunci omul modern se întoarce spre ştiinţă sau mai degrabă împotriva ştiinţei căreia îi măsoară acum teribila capacitate de a distruge nu numai trupurile, ci şi sufletul însuşi.

*

* *

Unde-i salvarea? Trebuie, oare, admis o dată pentru totdeauna că adevărul obiectiv şi teoria valorilor constituie domenii pe veci străine, impenetrabile unul pentru celălalt? Este atitudinea pe care pare s-o adopte o mare parte a gînditorilor moderni, fie ei scriitori, filozofi sau chiar oameni de ştiinţă. Eu o consider nu numai inacceptabilă pentru imensa majoritate a oamenilor, asupra cărora nu poate avea alt efect decît întreţinerea şi aţîţarea angoasei, ci absolut greşită, din două motive esenţiale: **valori şi cunoaştere**

— întîi, bineînţeles, pentru că valorile şi cunoaşterea sînt întotdeauna şi în mod necesar asociate atît în acţiune, cît şi în discurs;

— apoi, şi mai ales, pentru că *însăşi definiţia cunoaşterii „adevărate" se bazează în ultimă analiză pe un postulat de ordin etic.*

Fiecare din aceste două puncte cere o scurtă dezvoltare. Etica şi cunoaşterea sînt inevitabil legate în acţiune şi prin ea. Acţiunea pune *simultan* în joc, sau în discuţie, cunoaşterea şi valorile. Orice acţiune înseamnă o etică, serveşte sau deserveşte anumite valori; sau constituie o opţiune valorică, sau tinde spre ea. Pe de altă parte, însă, o cunoaştere este în mod necesar presupusă în orice acţiune, pe cînd, la rîndul ei, acţiunea este una din cele două surse necesare ale cunoaşterii.

Într-un sistem animist întrepătrunderea eticii cu cunoaşterea nu creează nici un conflict, deoarece animismul evită orice deosebire radicală între cele două categorii: el le consideră două aspecte ale aceleiaşi realităţi. Ideea unei etici sociale întemeiate pe „drepturi" presupus „naturale" ale omului exprimă o astfel de atitudine care se dezvăluie de asemeni, dar într-un

mod mult mai sistematic și mai pregnant, în încercările de explicitare a moralei implicite a marxismului.

De îndată ce se acceptă postulatul obiectivității drept condiție a oricărui adevăr al cunoașterii, se stabilește o deosebire radicală, indispensabilă însăși căutării adevărului, între domeniul eticii și cel al cunoașterii. Cunoașterea însăși exclude orice judecată de valoare (cu excepția celor de „valoare epistemologică"), în timp ce etica, *neobiectivă* prin esența ei, este pentru totdeauna exclusă din cîmpul cunoașterii.

În definitiv, tocmai această deosebire radicală, stabilită ca o axiomă, a creat știința. Mă simt tentat să notez aici că dacă acest eveniment unic în istoria culturii s-a produs în Occidentul creștin mai degrabă decît în altă civilizație, acest lucru se datorează, poate, în parte, faptului că biserica recunoștea o deosebire fundamentală între domeniul sacrului și domeniul profanului. Această distincție nu numai că permitea științei să-și caute căile (cu condiția de a nu încălca domeniul sacrului), dar, totodată, pregătea spiritul pentru deosebirea mai radicală pe care o stabilea principiul obiectivității. Occidentalii pot avea oarecare greutăți să înțeleagă că pentru anumite religii nu există, nu poate exista, nici o deosebire între sacru și profan. Pentru hinduism totul este de domeniul sacrului; în sine, însăși noțiunea de „profan" este incomprehensibilă.

Dar aceasta n-a fost decît o paranteză. Să revenim. Postulatul obiectivității, denunțînd „vechea alianță", interzice totodată orice confuzie între judecățile de cunoaștere și judecățile de valoare. Rămîne, totuși, că cele două categorii sînt inevitabil legate în acțiune și în discurs. Pentru a fi fideli principiului, vom spune, deci, că orice discurs (sau acțiune) nu trebuie să fie considerat semnificant, *autentic*, decît dacă (și în măsura în care) explicitează și menține deosebirea dintre cele două categorii pe care le asociază. Noțiunea de autenticitate devine, astfel definită, domeniul comun unde etica și cunoașterea se regăsesc; unde valorile și adevărul, asociate dar nu confundate, își dezvăluie întreaga semnificație omului atent care le sesizează rezonanța. În schimb, discursul *neautentic*, în care cele două categorii sînt amalgamate și confundate,

nu poate să ducă decît la nonsensurile cele mai pernicioase, la minciunile cele mai criminale, fie ele și inconștiente.

Se poate vedea că această amalgamare primejdioasă este practicată, cel mai constant și în modul cel mai sistematic, tocmai în discursul „politic" (înțeleg tot timpul termenul de „discurs" în sensul cartezian). Și asta o fac nu numai politicienii de profesie. Chiar oamenii de știință se dovedesc adesea, în afara domeniului lor, periculos de incapabili să facă distincția între categoria valorilor și cea a cunoașterii.

Aceasta a fost, însă, o altă paranteză. Să revenim la izvoarele cunoașterii. Animismul, am spus, nu vrea și, de altfel, nici nu poate să facă o deosebire absolută între propozițiile de cunoaștere și judecățile de valoare; căci dacă se presupune că în univers este prezentă o intenție, oricît de grijuliu ar fi ea deghizată, ce sens ar mai avea să se facă o astfel de deosebire? Într-un sistem obiectiv, dimpotrivă, orice confuzie între cunoaștere și valori este *interzisă*. Dar (și acesta constituie aspectul esențial, articulația logică care asociază, la rădăcină, cunoașterea și valorile) această interdicție, acest „prim comandament" care întemeiază cunoașterea obiectivă, nu este și nici nu poate fi obiectivă: ea este o normă morală, o *disciplină*. Cunoașterea adevărată ignoră valorile, dar pentru întemeierea ei este nevoie de o judecată de valoare sau mai degrabă de o *axiomă* valorică. Este evident că a pune postulatul obiectivității drept condiție a cunoașterii adevărate *constituie o opțiune etică și nu o judecată de cunoaștere, deoarece, conform însuși postulatului, nu putea să existe cunoaștere „adevărată" anterioară acestei opțiuni arbitrare.* Postulatul obiectivității, pentru a stabili *norma* cunoașterii, definește o *valoare* care este cunoașterea obiectivă însăși. A accepta postulatul obiectivității înseamnă, deci, a enunța propoziția de bază a unei etici: *etica cunoașterii.*

etica cunoașterii

În etica cunoașterii, *alegerea etică a unei valori inițiale* este cea care întemeiază cunoașterea. Prin aceasta, ea diferă radical de eticile animiste care se pretind, toate, întemeiate pe „cunoașterea" legilor imanente, religioase sau „naturale", care s-ar impune omului. Etica cunoașterii nu se impune omului; dimpo-

trivă, el este cel ce și-o impune făcînd-o *axiomatic* condiția autenticității oricărui discurs sau a oricărei acțiuni. *Discursul despre metodă* propune o epistemologie normativă, dar el trebuie citit, de asemenea și înainte de toate, ca meditație morală, ca asceză a spiritului.

La rîndul lui, discursul autentic întemeiază știința și îi încredințează omului puterile imense care, astăzi, îl îmbogățesc și îl amenință, îl eliberează, dar, totodată, ar putea să-l aservească. Societățile moderne, țesute de știință, trăind din produsele ei, au devenit dependente de ea ca un intoxicat de drogul lui. Ele își datorează puterea materială acestei etici întemeietoare a cunoașterii, iar slăbiciunea morală sistemelor de valori ruinate de cunoașterea însăși, sisteme la care încearcă, în continuare, să se raporteze. Această contradicție este mortală. Ea sapă prăpastia pe care o vedem deschizîndu-se sub pașii noștri. Etica cunoașterii, creatoare a lumii moderne, este singura compatibilă cu aceasta, singura capabilă, odată înțeleasă și acceptată, să-i ghideze evoluția.

*

* *

Poate fi ea înțeleasă și acceptată? Dacă este adevărat, cum cred eu, că angoasa singurătății și nevoia imperioasă a unei explicații totale sînt înnăscute; că această moștenire venită din adîncul vremurilor este nu numai culturală, ci și, fără îndoială, genetică, se poate oare concepe că această etică austeră, abstractă, orgolioasă ar putea să calmeze neliniștea, să satisfacă nevoia? Nu știu. Poate, însă, că la urma urmelor nu este cu totul imposibil. Poate că, mai mult chiar decît de o „explicație" pe care etica cunoașterii n-ar putea să i-o dea, omul are nevoie de depășire și de transcendere? Forța marelui vis al socialismului, mereu viu în suflete, pare să dovedească acest lucru. Nici un sistem de valori nu poate pretinde să constituie o veritabilă etică a cunoașterii dacă nu propune un ideal care transcende individul pînă la justificarea, în caz de nevoie, a sacrificiului de sine.

Prin însuși faptul că ambiția ei țintește atît de sus, etica cunoașterii ar putea, poate, să satisfacă această nevoie de depășire. Ea definește o valoare transcen-

dentă, cunoaşterea adevărată, şi-i propune omului nu să se servească de ea, ci, de acum înainte, s-o servească în urma unei opţiuni deliberate şi conştiente. Ea este, totodată, însă, şi un umanism, pentru că respectă în om pe creatorul şi depozitarul acestei transcenderi.

Etica cunoaşterii este, totodată, într-un anumit sens, „cunoaşterea eticii", a pulsiunilor, a pasiunilor, a trebuinţelor şi limitelor fiinţei biologice. Ea ştie să vadă în om animalul, nu absurd ci straniu, preţios tocmai prin stranietatea lui, fiinţa care, ţinînd simultan de două regnuri, biosfera şi împărăţia ideilor, este atît chinuită, cît şi îmbogăţită de acest dualism sfîşietor care se exprimă în arta, în poezia, ca şi în dragostea umană.

Sistemele animiste, dimpotrivă, au căutat toate, mai mult sau mai puţin, să-l ignoreze pe omul biologic, să-l deprecieze sau să-i impună restricţii, să-l facă să se ruşineze de anumite trăsături, inerente condiţiei sale animale, sau, chiar, să se simtă terorizat de ele. Etica cunoaşterii, în schimb, îl încurajează pe om să respecte şi să-şi asume această moştenire, cu condiţia de a şti, cînd trebuie, s-o domine. Cît priveşte cele mai înalte calităţi umane — curajul, altruismul, generozitatea, ambiţia creatoare —, etica cunoaşterii, recunoscînd originea lor socio-biologică, afirmă, totodată, valoarea lor transcendentă în slujba idealului pe care îl defineşte.

*

* *

etica cunoaşterii şi idealul socialist

În sfîrşit, etica cunoaşterii este, după părerea mea, singura atitudine, în acelaşi timp raţională şi deliberat idealistă, pe care s-ar putea construi un socialism autentic. Acest vis măreţ al secolului al XIX-lea continuă să trăiască în sufletele tinere cu o intensitate dureroasă. Dureroasă din cauza trădărilor pe care acest ideal le-a suferit şi a crimelor comise în numele lui. Este tragic, dar poate că era inevitabil, că această aspiraţie profundă nu şi-a găsit doctrina filozofică decît sub forma unei ideologii animiste. Este uşor de văzut că profetismul istoricist întemeiat pe materialismul dialectic era, de la naştere, purtătorul tuturor ameninţărilor care, într-adevăr, s-au împlinit. Mai mult poate decît celelalte animisme, materialismul

istoric are la bază o confuzie totală între categoria de valoare și cea de cunoaștere. Tocmai această confuzie îi permite, într-un discurs profund neautentic, să proclame că a stabilit „științific" legile istoriei, față de care omul n-ar avea altă soluție și nici altă obligație decît să li se supună dacă nu vrea să piară în neant.

O dată pentru totdeauna trebuie să se renunțe la această iluzie, care nu este decît puerilă, cînd nu este fatală. Cum s-ar putea, vreodată, construi un socialism autentic pe o ideologie neautentică prin esență, deriziune a științei pe care pretinde, sincer în spiritul adepților ei, că se sprijină? Singura speranță a socialismului nu este o „revizuire" a ideologiei care îl domină de mai bine de un secol, ci abandonarea totală a acestei ideologii.

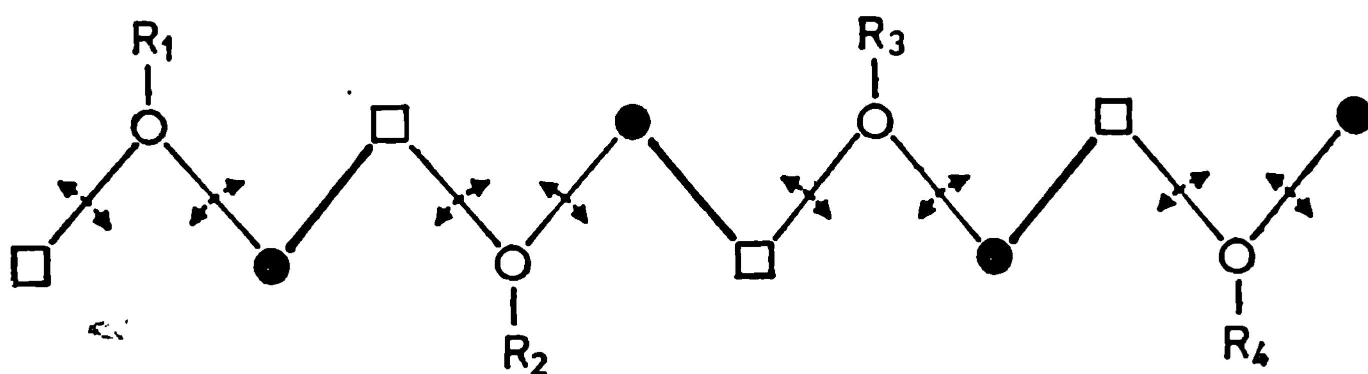
Unde, atunci, să regăsim izvorul de adevăr și inspirația morală a unui umanism socialist cu adevărat *științific* dacă nu la izvoarele științei însăși, în etica întemeietoare a cunoașterii făcînd din ea, prin opțiune liberă, valoarea supremă, măsura și garanția tuturor celorlalte valori? O etică ce întemeiază responsabilitatea morală pe însăși libertatea acestei alegeri axiomatice. Numai etica cunoașterii va putea duce la socialism, dacă este acceptată ca bază a instituțiilor sociale și politice, deci ca măsură a autenticității lor, a valorii lor. Ea impune instituții menite să asigure apărarea, extinderea, îmbogățirea împărăției transcendente a ideilor, a cunoașterii, a creației. Împărăție care se află în om și în care, din ce în ce mai liber de constrîngerile materiale și de servituțile mincinoase ale animismului, el va putea, în sfîrșit, să trăiască cu adevărat, apărat de instituții care, văzînd în el atît supusul cît și creatorul împărăției, vor trebui să-l servească în esența lui cea mai prețioasă și unică.

Este, poate, o utopie, dar nu este un vis incoerent. Este o idee care se impune fie și numai prin forța coerenței sale logice. Este concluzia la care duce cu necesitate căutarea autenticității. Vechea alianță s-a destrămat, omul știe, în sfîrșit, că este singur în imensitatea indiferentă a universului din care a apărut datorită hazardului. Ca și destinul său, datoria lui nu este scrisă nicăieri. El singur trebuie să aleagă între împărăție și tenebre.

ANEXE

1. Structura proteinelor

Proteinele sînt macromolecule constituite prin polimerizarea lineară a substanțelor numite „aminoacizi". Structura generală a lanțului „polipeptidic" care rezultă din această polimerizare este următoarea:



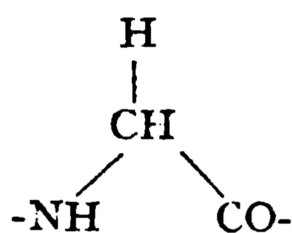
În această schemă cercurile albe și cele negre și pătratele albe corespund diferitelor grupări de atomi (○ = CH; ● = CO; □ = NH), în timp ce literele R_1, R_2 etc. reprezintă diferite resturi organice (aminoacidice). Cele 20 de resturi de aminoacizi care sînt constituenți universali ai proteinelor sînt arătați în tabelul 1.

Se vede că lanțul conține trei tipuri de legături între atomi, sau grupuri de atomi, și anume:

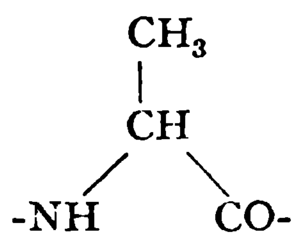
1. între cercul alb și cercul negru (CH—CO);
2. între cercul alb și pătratul alb (CH—NH);
3. între cercul negru și pătratul alb (CO—NH).

Această din urmă legătură (numită „peptidică") este rigidă (linii groase în figura de mai sus): ea imobilizează unul față de altul atomii pe care îi unește. Dimpotrivă, celelalte două legături permit o rotație liberă (săgețile punc-

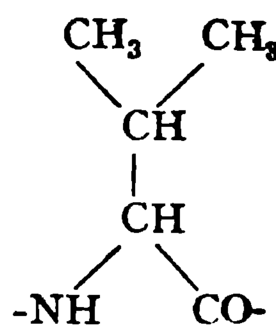
1. Hidrofobi



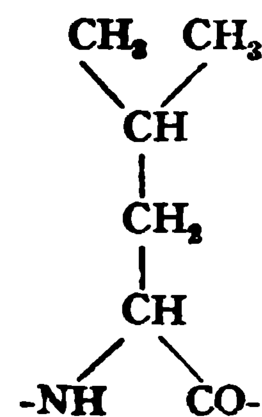
Glicil
(*Gly*)



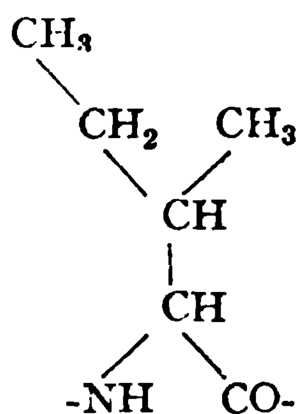
Alanil
(*Ala*)



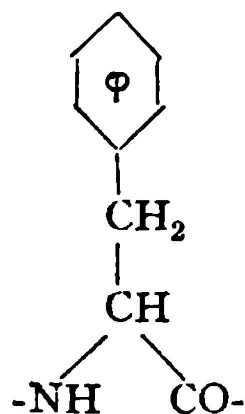
Valil
(*Val*)



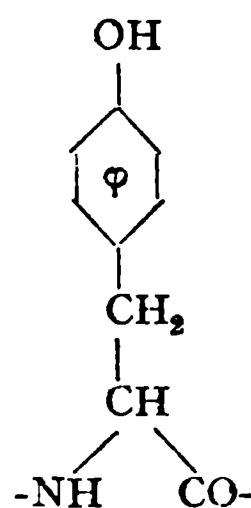
Leucil
(*Leu*)



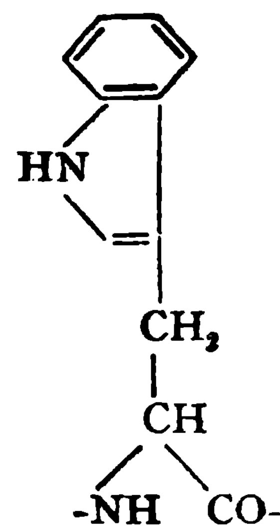
Izoleucil
(*Ilcu*)



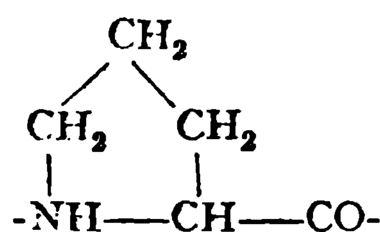
Fenilalanil
(*Phe*)



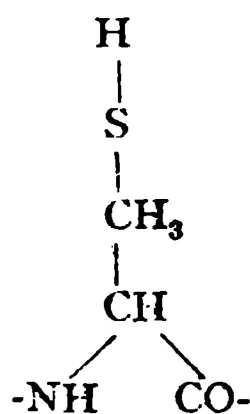
Tirozil
(*Tyr*)



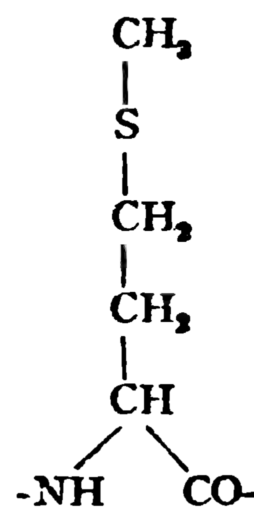
Triptofanil
(*Try*)



Prolil
(*Pro*)

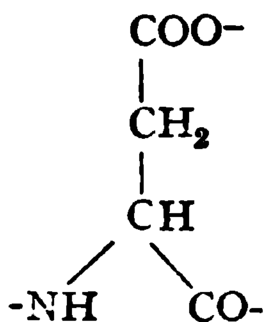


Cisteinil
(*Cys*)

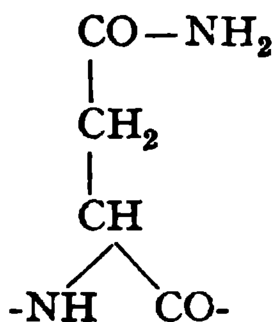


Metionil
(*Met*)

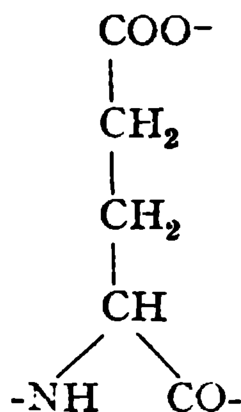
2. Hidr ofili



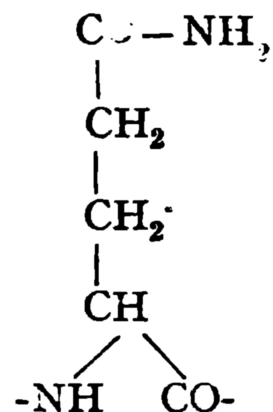
Aspartil
(*Asp*)



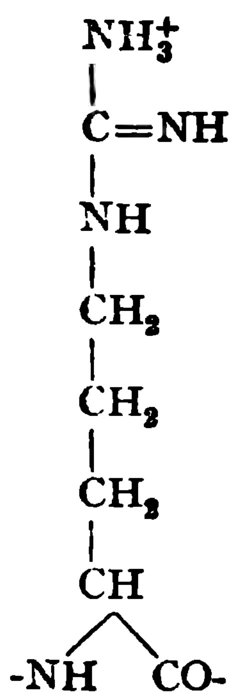
Asparagil
(*Asn*)



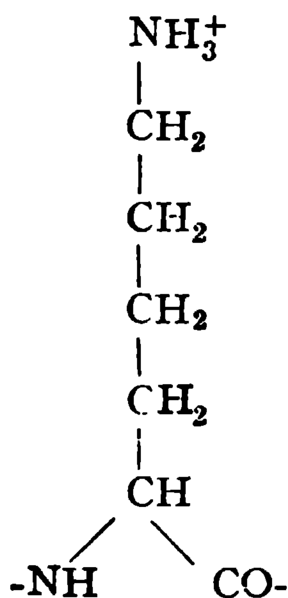
Glutamil
(*Glu*)



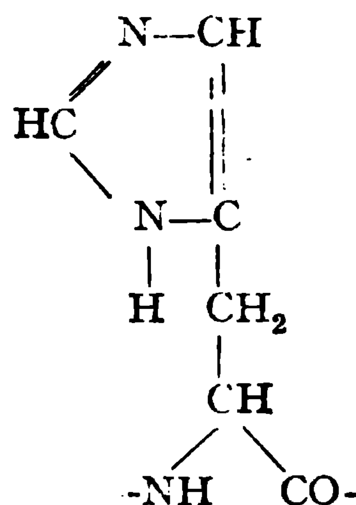
Glutaminil
(*Gln*)



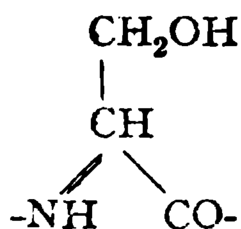
Arginil
(*Arg*)



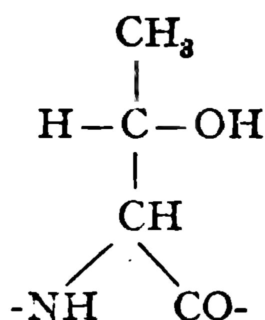
Lizil
(*Lys*)



Histidil
(*His*)



Seril
(*Ser*)



Treonil
(*Thr*)

tate) a atomilor, unul față de altul. Aceasta permite lanțului polipeptidic să se plieze într-un mod extrem de complex și de variat. Numai înghesuiala atomilor (în special, a celor care constituie resturile de aminoacizi R_1, R_2 etc.) limitează, în principiu, aceste posibilități de pliere.

Totuși, (v. p. 83) în proteinele globulare native, toate moleculele unei aceleiași specii chimice (definită prin *secvența* resturilor de aminoacizi în lanț) adoptă aceeași structură pliată. Figura 5 prezintă schematic parcursul lanțului polipeptidic într-o enzimă, papaină.

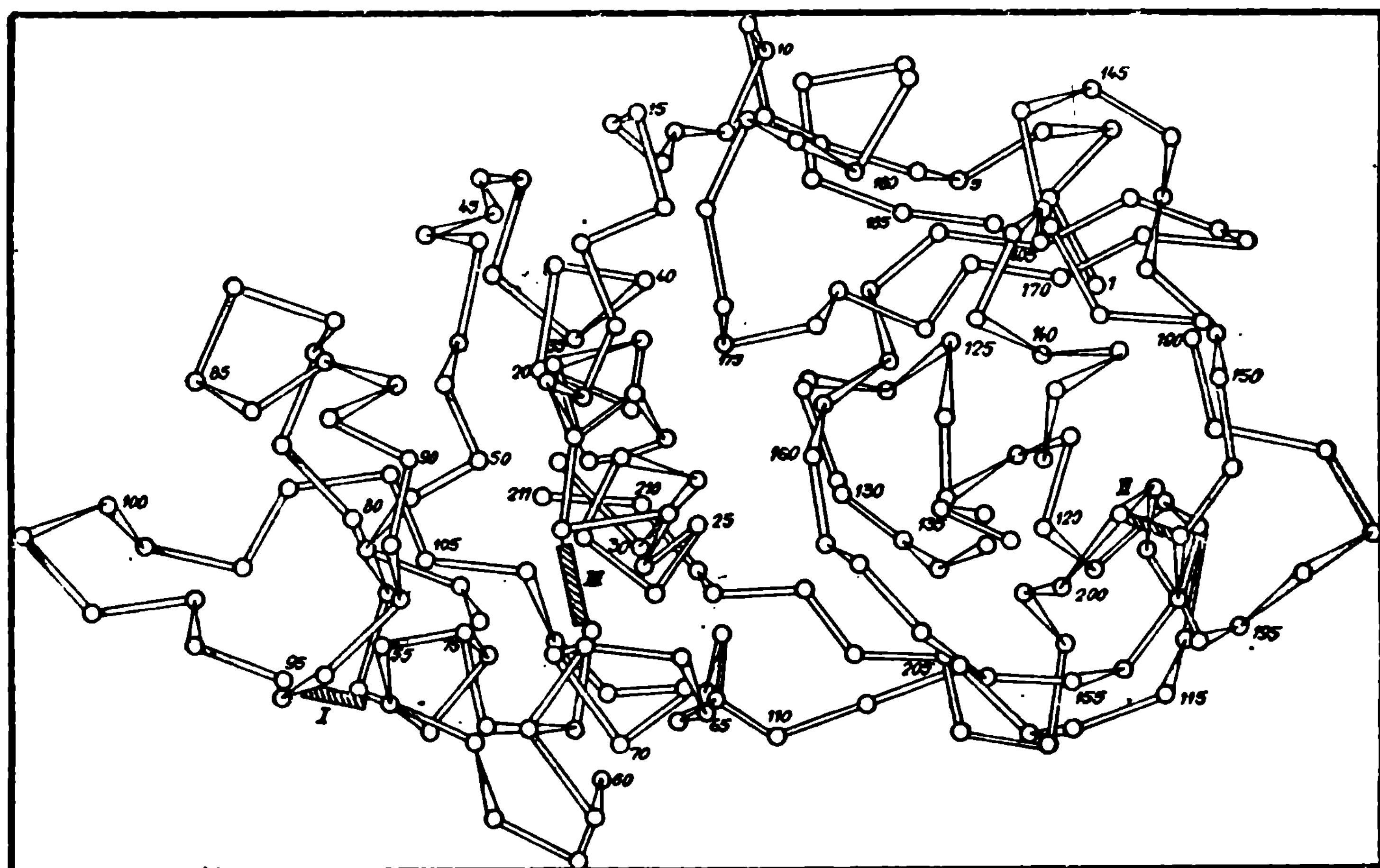


Fig. 5. Reprezentare schematică a plierilor lanțului peptidic în molecula de papaină

(J. Drenth, J.N. Jansonius, R. Koekoek, H.M. Swen and B.G. Wolthers, „Nature", 218, 1968, p. 929–932.

Se vede cît de complex și, în aparență, de incoerent este acest parcurs.

2. Acizi nucleici

Acizii nucleici sînt macromolecule care rezultă din polimerizarea lineară a substanțelor numite „nucleotide". Acestea sînt constituite prin unirea unui glucid cu o bază azotată, pe de o parte, iar pe de alta, cu un rest al unei molecule de acid fosforic (fosforil). Polimerizarea are loc prin intermediul grupărilor fosforil care unesc fiecare rest glucidic cu precedentul și cu următorul, formînd, astfel, un lanț „polinucleotidic".

În ADN (acid dezoxiribonucleic) se găsesc patru nucleotide care diferă prin structura bazei azotate constituente. Aceste patru baze, numite Adenină, Guanină, Citozină și Timină, sînt notate în general A, G, C și T. Acestea sînt literele alfabetului genetic. Din motive sterice, Adenina (A) din ADN tinde să se unească spontan printr-o legătură necovalentă (v. p. 54) cu Timina (T), în timp ce Guanina (G) se unește cu Citozina (C).

ADN este constituit din *două* catene polinucleotidice unite prin aceste legături necovalente specifice. A dintr-o catenă este unit cu T din cealaltă, G cu C; T cu A și G cu C. Cele două catene sînt, deci, *complementare.*

Această structură este prezentată schematic în figura 6, în care pentagoanele simbolizează resturile de glucide, cercurile negre indică atomii de fosfor care asigură continuitatea fiecăruia din cele două lanțuri, în timp ce pătratele notate A, T, G, C reprezintă bazele unite perechi (A—T; G—C; T—A; C—G) datorită interacțiilor necovalente, arătate prin liniile punctate. Structura se poate acomoda tuturor secvențelor posibile de perechi. Ea nu este limitată în lungime.

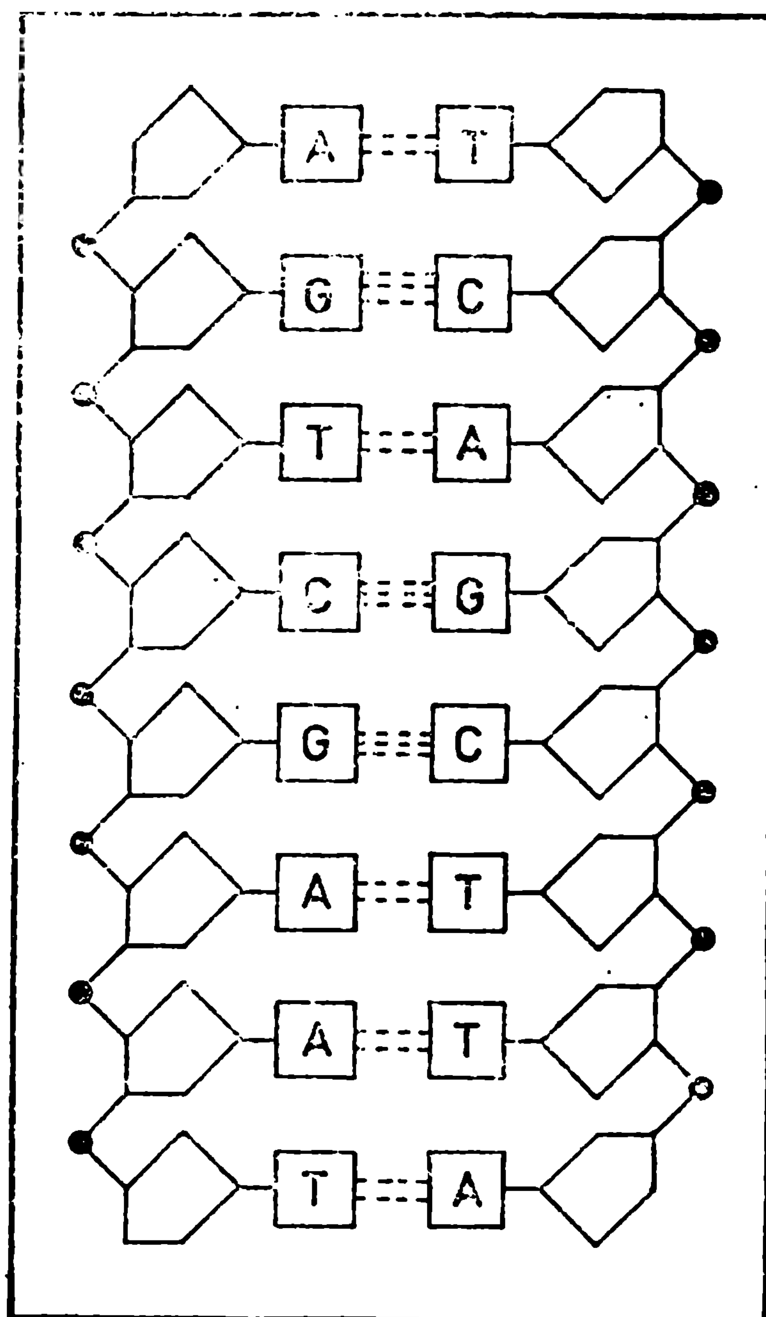


Figura 6

Replicarea acestei molecule are loc prin separarea celor două catene, urmată de reconstituirea, nucleotid cu nucleotid, a celor două catene complementare, ceea ce se poate prezenta, cu o notaţie simplificată şi limitîndu-ne la patru perechi, aşa cum se vede în figura 7.

Cele două molecule astfel sintetizate conţin fiecare unul din catenele moleculei mamă şi o catenă nou formată prin împerechere specifică, nucleotid cu nucleotid. Aceste două molecule sînt identice între ele, precum şi cu molecula mamă. Acesta este mecanismul, foarte simplu în principiu, al invarianţei replicative (replicării semiconservative).

Mutaţiile rezultă din diferite tipuri de accidente care pot afecta acest mecanism microscopic. Astăzi se înţelege destul de bine mecanismul chimic al unora dintre ele. De exemplu, substituirea unei perechi de nucleotide alteia se datorează faptului că bazele azotate pot, în plus faţă de starea lor

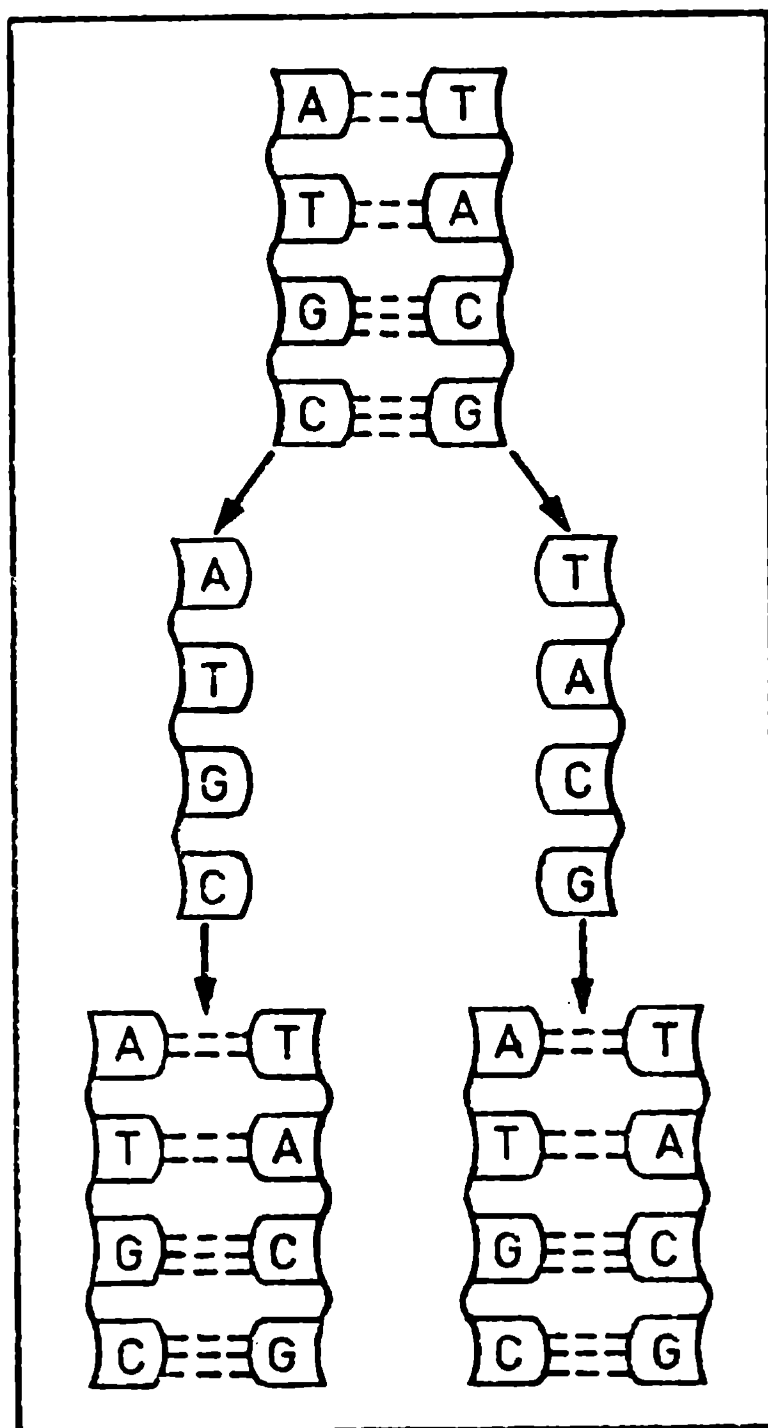


Figura 7

„normală", să adopte în mod excepţional şi trecător o formă tautomeră în care capacitatea de împerechere specifică a bazei este într-un fel „inversată" (de exemplu, baza C, în forma „excepţională" se împerechează cu A şi nu cu G). Se cunosc agenţi chimici care măresc considerabil probabilitatea, adică frecvenţa, acestor împerecheri „ilicite". Aceşti agenţi sînt puternici „mutageni".

Alţi agenţi chimici, capabili de inserţie între nucleotide, deformează lanţul ADN şi favorizează, astfel, accidente ca deleţia sau adiţia unuia sau mai multor nucleotide.

În sfîrşit, radiaţiile ionizante (raze X şi raze cosmice), provoacă, în special, diferite tipuri de deleţii sau de „masticuri".

3. Codul genetic

Structura şi proprietăţile unei proteine sînt definite de secvenţa (ordinea lineară) a resturilor de aminoacizi în polipeptidă (cf. p. 84-85). Această secvenţă este determinată de cea a nucleotidelor dintr-un segment de catenă al ADN. Codul genetic *(sensu stricto)* este regula care asociază o secvenţă polinucleotidică uneia polipeptidice.

Cum există 20 de resturi de aminoacizi de specificat şi numai 4 „litere" (4 nucleotide) în alfabetul ADN, este nevoie de cîteva nucleotide pentru specificarea unui aminoacid. Codul, de fapt, este compus din „triplete": fiecare aminoacid este specificat de o secvenţă de *trei nucleotide* (codon). Corespondentele (triplet — aminoacid) sînt arătate în tabelul II.

Trebuie, în primul rînd, să notăm că mecanismul traducerii nu foloseşte direct secvenţele nucleotidice ale ADN, ci „transcripţia" *uneia* din cele două catene într-un polinucleotid monocatenar numit acid ribonucleic mesager (ARN m). Polinucleotidele ARN diferă de cele ADN prin unele detalii de structură, mai ales prin substituirea bazei *Uracil* (U) în locul bazei Timină (T). Cum ARN mesager este cel ce serveşte de matriţă pentru asamblarea secvenţială a aminoacizilor care urmează să formeze polipeptida, codul este figurat în tabelul II în scrierea sa cu alfabetul ARN şi nu al ADN.

Se vede că pentru majoritatea aminoacizilor există cîteva notaţii diferite, sub forma de „triplete" de nucleotide. Cu un alfabet de patru litere se pot forma $4^3 = 64$ de „cuvinte" de trei litere. Or, nu sînt de specificat decît 20 de resturi de aminoacizi.

I ↓ II →	U	C	A	G	↓ III
U	Phe Phe Leu Leu	Ser Ser Ser Ser	Tyr Tyr „N.sens" „N.sens"	Cys Cys „N.sens" Try	U C A G
C	Leu Leu Leu Leu	Pro Pro Pro Pro	His His GluN GluN	Arg Arg Arg Arg	U C A G
A	Ileu Ileu Ileu Met	Thr Thr Thr Thr	AspN AspN Lys Lys	Ser Ser Arg Arg	U C A G
G	Val Val Val Val	Ala Ala Ala Ala	Asp Asp Glu Glu	Gly Gly Gly Gly	U C A G

În acest tabel, prima literă a fiecărui triplet se citește pe coloana verticală din stînga, a doua — pe rîndul orizontal, a treia — pe coloana verticală din dreapta. Numele resturilor de aminoacizi corespondenți sînt dați prescurtat (cf. Tabelul I).

În schimb, trei triplete (UAA, UAG, UGA) sînt „fără sens", deoarece nu desemnează nici un aminoacid. Ele joacă, totuși, un rol important ca semne de punctuație în citirea secvenței nucleotidice.

Mecanismul traducerii propriu-zise este complex: în el intervin numeroși constituenți macromoleculari. Cunoașterea acestui mecanism nu este necesară pentru înțelegerea textului. Este suficient să menționăm intermediarii care dețin cheia traducerii. Aceștia sînt ARN numiți de „transfer". Aceste molecule comportă de fapt:

1. O grupare „acceptor" de aminoacizi; enzime speciale recunosc, pe de o parte, un aminoacid, iar pe de alta un anumit ARN de transfer și catalizează legarea (covalentă) a aminoacidului cu molecula de ARN.

2. O secvenţă *complementară* a fiecărui triplet din cod (anticodon), ceea ce permite fiecărui ARN de transfer să se cupleze cu tripletul corespunzător din ARN mesager (codon). Această împerechere are loc în asociere cu un constituent complex (ribozomul), care, în mare, joacă rolul de „banc de lucru" pentru asamblarea diferiţilor constituenţi ai mecanismului. ARN mesager este citit secvenţial, un mecanism care, încă, nu este bine înţeles, permiţînd ribozomului să progreseze, triplet cu triplet, în lungul lanţului polinucleotidic. La rîndul lui, fiecare triplet se împerechează la suprafaţa ribozomului cu ARN de transfer, purtător al aminoacidului specificat de acest triplet. O enzimă catalizează în fiecare etapă formarea unei legături peptidice între aminoacidul purtat de ARN şi aminoacidul precedent, la capătul lanţului polipeptidic deja format, care se lungeşte astfel cu o unitate. După care ribozomul progresează cu un triplet şi procesul reîncepe.

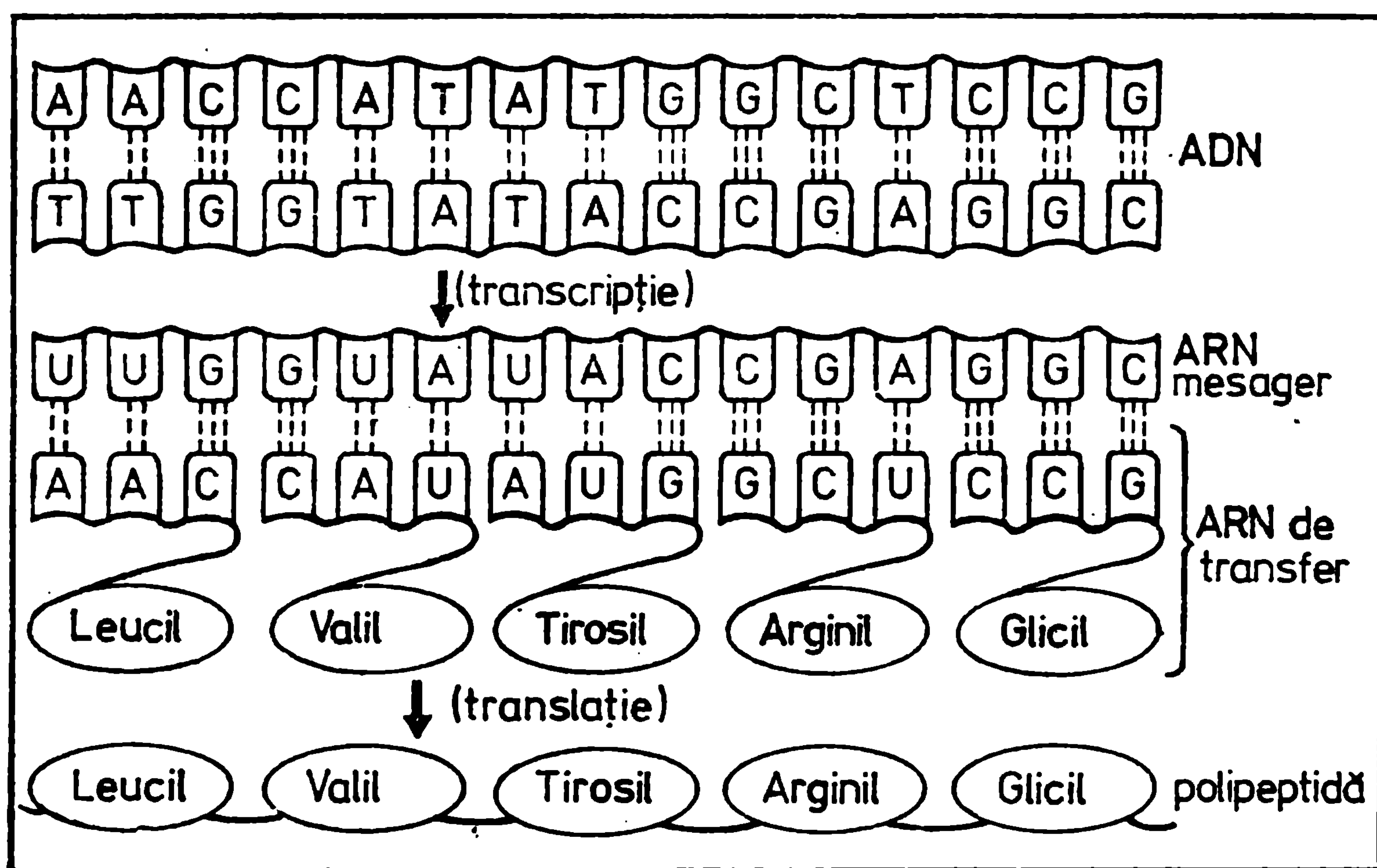


Figura de mai sus prezintă o schemă de principiu a mecanismului de transfer al informaţiei corespunzătoare unei secvenţe (arbitrar alese) a ADN.

ARN mesager, în figura de mai sus, este presupus transcris începînd din punctul catenei ADN marcat cu un asterisc. În realitate, acizii ribonucleici de transfer se împerechează cu mesagerul unul după altul. Pentru claritate ei sînt prezentaţi ca împerecheaţi simultan.

4. Cu privire la semnificația principiului al doilea al termodinamicii

S-a scris atît de mult despre semnificația principiului al doilea al termodinamicii, despre entropie, despre „echivalența" între entropie negativă și informație, încît ezit să reiau acest subiect pe scurt. Rememorarea cîtorva lucruri va fi poate, totuși, utilă pentru unii cititori.

În prima lui formă, pur termodinamică (enunțată de Clausius în 1850 ca o generalizare a teoremei lui Carnot), principiul al doilea prevede că *într-un recipient izolat din punct de vedere energetic* toate diferențele de temperatură trebuie să tindă *spontan* să se anuleze. Sau, ceea ce este același lucru, principiul stipulează că într-un astfel de recipient în care temperatura ar fi *uniformă*, este imposibil să apară diferențe de potențial termic între diferite regiuni ale sistemului. De unde, de exemplu, necesitatea de a cheltui energie pentru răcirea unui frigider.

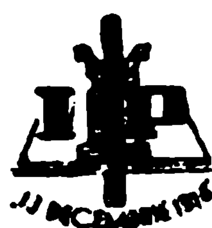
Or, într-un recipient cu temperatură uniformă, în care nu mai există nici o diferență de potențial, nu poate avea loc nici un fenomen (macroscopic). În acest sens se spune că principiul al doilea prevede *degradarea* inevitabilă a energiei într-un sistem izolat, așa cum este universul. „Entropia" este mărimea termodinamică cu care se *măsoară* nivelul de degradare al energiei unui sistem. Conform celui de-al doilea principiu, prin urmare, orice fenomen este însoțit, în mod necesar, de o creștere a entropiei în sistemul în care se produce.

Dezvoltarea teoriei cinetice a materiei (mecanica statistică) avea să dezvăluie semnificația cea mai profundă și cea mai generală a principiului al doilea. „Degradarea ener-

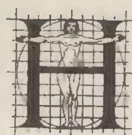
giei", sau creşterea entropiei, este o consecință statistic previzibilă a mişcărilor şi ciocnirilor întîmplătoare ale moleculelor. Fie, de exemplu, două recipiente cu temperaturi diferite, între care se stabileşte o comunicare. Moleculele „calde" (adică rapide) şi moleculele „reci" (adică lente) vor trece, după cum dictează întîmplarea, dintr-un recipient în celălalt, ceea ce va anula inevitabil diferența de temperatură dintre cele două recipiente. Acest exemplu arată că creşterea entropiei într-un astfel de sistem este legată de o creştere a *dezordinii:* moleculele lente şi cele rapide, la început separate, sînt acum amestecate şi energia totală a sistemului se va repartiza statistic între toate moleculele ca urmare a ciocnirilor dintre ele; în plus, cele două recipiente, între care la început se putea face o deosebire (sub raportul temperaturii lor) devin echivalente. Înainte de amestec sistemul putea să efectueze un travaliu, deoarece conţinea o diferență de potențial între cele două recipiente. După atingerea echilibrului statistic, în sistem nu se mai poate produce nici un fenomen.

Dacă creşterea entropiei măsoară creşterea *dezordinii* într-un sistem, o creştere a ordinii corespunde unei scăderi a entropiei sau, cum se spune uneori, unei îmbogățiri în entropie negativă (sau „negentropie"). Gradul de ordine al unui sistem poate fi, însă, definit într-un alt limbaj: cel al informației. În acest limbaj, ordinea unui sistem este egală cu cantitatea de informație necesară pentru *descrierea* acestui sistem. De unde ideea, datorată lui Szilard şi Léon Brillouin, a unei anumite echivalențe între „informație" şi „negentropie" (v. p. 58-59). Este o idee extrem de fecundă, dar care poate da loc unor generalizări sau asimilări imprudente. Rămîne, totuşi, legitim să considerăm că unul din enunțurile fundamentale ale teoriei informației, anume că transmiterea unui mesaj este, în mod necesar, însoțită de o anumită disipație a informației pe care o conține, constituie echivalentul, în informatică, al principiului al doilea al termodinamicii.

Format 16/54×84. Coli tipar 10,50



Comanda 443/297
Întreprinderea poligrafică „13 Decembrie 1918“
ROMÂNIA



HUMANITAS

«Astăzi e imprudent, pentru un om de știință, să folosească termenul de „filozofie“, fie ea și „naturală“, în titlul (sau chiar în subtitlul) unei lucrări. E garanția că ea va fi primită cu neîncredere de oamenii de știință și, în cel mai bun caz, cu condescendență de filozofi. Nu am decît o scuză, dar o cred întemeiată : datoria pe care o au oamenii de știință — azi mai mult ca oricînd — de a-și gîndi disciplina în ansamblul culturii moderne pentru a o îmbogăți pe aceasta nu numai cu cunoștințe importante sub raport tehnic, ci și cu idei venite din știința lor, pe care le pot considera semnificative sub raport uman. Chiar ingenuitatea unei priviri noi (cea a științei este întotdeauna așa) poate să arunce uneori o lumină nouă asupra unor probleme vechi... Eseul de față nu pretinde cîtuși de puțin să expună întreaga biologie, dar încearcă deschis să extragă chintesența teoriei moleculare a codului... Îmi asum deplina responsabilitate pentru considerațiile de ordin etic, dacă nu politic, pe care nu am vrut să le evit, oricît de periculoase ar fi ele și chiar dacă, împotriva voinței mele, s-ar putea să pară fie naive, fie prea ambițioase : modestia îi stă bine savantului, dar nu și ideilor lui, pe care *trebuie* să le apere.»

JACQUES MONOD

ISBN 973-28-0194-8

Lei 65

